

5

**Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung
eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen Bauteils**

10

Beschreibung

15 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere ein Verfahren zum Ermitteln der Kraft, mit der eine Antriebseinrichtung ein Bauteil verstellt oder ein im Verstellweg des Bauteils befindliches Objekt einklemmt.

20

Aus der DE 198 40 164 A1 ist ein Verfahren zum Verstellen eines zwischen zwei Stellungen translatorisch bewegbaren Bauteils bekannt, bei dem die momentane Krafteinwirkung auf das translatorisch bewegbare Bauteil aus der Periodendauer eines Antriebsmotors, der Teil einer das translatorisch verstellbare Bauteil verstellenden Antriebseinrichtung ist, aus Kraftänderungswerten, die aus Änderungen der Drehzahl des Antriebsmotors berechnet werden, und aus den aufsummierten und über Gleichungssysteme, die anhand eines mathematischen Modells der gesamten Verstellvorrichtung einschließlich des Antriebs erstellt wurden, gewichtete Kraftänderungswerte ermittelt werden, die ausschließlich vom Verhalten des Antriebsmotors abhängen. Die momentane Krafteinwirkung auf das translatorisch bewegbare Bauteil wird als Kriterium für das Abschalten oder Reversieren des Antriebsmotors herangezogen, wobei bei der Berechnung der Kraftänderungswerte für jeden Drehzahländerungswert, der einen oberen Schwellwert übersteigt, der Wert dieses oberen Schwellwertes anstelle des Drehzahländerungswertes herangezogen wird.

35

Zur Begrenzung der Anzahl der zu erfassenden physikalischen Größen und der Häufigkeit der Abtastungen der physikalischen Größen wird die Periodendauer der Umdrehungen des Antriebsmotors mittels eines Magnetrades und zweier Hall-Sensoren erfasst. Aus der erfassten Periodendauer in Verbindung mit verschiedenen, empirisch oder

messtechnisch erfassten Parametern wird eine fein gerasterte Überwachung der Einklemmschutzkriterien durch Extrapolation der erfassten Periodendauer angestrebt.

5 Dazu werden zur Bestimmung der momentanen Krafteinwirkung auf das translatorisch bewegbare Bauteil die nur periodenweise zur Verfügung stehenden Messwerte der Periodendauer extrapoliert, wobei die bei der Extrapolationsformel verwendeten Parameter das Gesamtsystem der Antriebsvorrichtung modulieren und durch die Federsteifigkeiten, Dämpfungen und Reibungen des Gesamtsystems bestimmt sind. Dadurch werden spektrale Anteile des Periodenzeitverlaufs, die von Vibrationen herrühren, schwächer bewertet
10 als solche, die von einem Einklemmfall herrühren. Aus den so bestimmten Schätzwerten für die Periodendauer wird dann die Drehzahländerung zu einem Zeitpunkt, bezogen auf den vorhergehenden Zeitpunkt unter Verwendung eines Motorspannungsfilters und eines Wegprofilfilters abgeschätzt, um Einflüsse der Motorspannung und der Position des beweglichen Fahrzeugteils auf die Motordrehzahl zu eliminieren.

15 Die für die Elimination der Motorspannung und Position des translatorisch bewegbaren Bauteils auf die Motordrehzahl verwendeten Größen bilden unter anderem das dynamische Verhalten des Antriebsmotors bei Spannungsänderungen nach. Eine weitere Korrektur wird dadurch vorgenommen, dass die abgeschätzten Drehzahländerungen mit einer festgesetzten, zeitlich konstanten Untergrenze verglichen werden. Soweit die abgeschätzten Drehzahländerungen diese Untergrenze übersteigen, werden sie mit einem Proportionalitätsfaktor multipliziert, der die Steilheit der Motorkennlinie des Antriebsmotors wiedergibt.

25 Aus der DE 40 20 351 C2 ist ein Verfahren zur Steuerung einer Fensterscheibe eines Kraftfahrzeugs bekannt, bei dem ein Korrekturverfahren angewendet wird, um ein Einklemmschutzkriterium abzuleiten, mit dem ein zu frühes Ansprechen einer Einklemmschutzvorrichtung verhindert werden soll. Zu diesem Zweck versorgt eine erste Sensoreinrichtung eine Steuerelektronik mit ursächlich mit der Fensterscheibe und der die Fensterscheibe bewegenden Antriebseinrichtung zusammenhängenden Signalen wie Bordspannung, Fensterhebergeschwindigkeit, Drehmoment des Antriebs, Scheibengewicht
30 usw., während ein zweites Sensorelement die Steuerelektronik mit ursächlich nicht mit der Fensterscheibe und der Antriebseinrichtung zusammenhängenden Signalen versorgt, nämlich mit auf die Karosserie einwirkenden Beschleunigungskräften. Um ein
35 fälschliches Abschalten oder Reversieren der Einklemmschutzvorrichtung zu verhindern,

werden die Signale des zweiten Sensorelementes als Grundpegel verwendet und die Signale der ersten Sensoreinrichtung unter Sicherheitsaspekten bewertet.

5 Bei dem bekannten Verfahren wird von einer relativen Erkennung eines Kraftaufbaus durch einen Anstieg der Periodendauer Gebrauch gemacht, das heißt, die Kraftänderungen in aufeinanderfolgenden Zeitabschnitten werden miteinander verglichen, wodurch der Anlauf des translatorisch bewegbaren Bauteils nur schwer vom Einklemmen eines Objekts im Verstellweg des translatorisch bewegbaren Bauteils unterschieden werden kann.

10

Bei Spannungssprüngen im Bordnetz eines Kraftfahrzeugs und beim Befahren von Schlechtwegstrecken erfolgt durch die bekannten Verfahren eine Überkompensation der Störgrößen, was zu hohen Offsets mit sehr hohen Kräften führt, so dass die zulässigen Einklemmkräfte überschritten werden. Ein weiterer Nachteil der bekannten Verfahren besteht darin, dass eine Erkennung der auf das translatorisch bewegbare Bauteil einwirkenden Kraft nur bei einem Anstieg in der Periodendauer möglich ist, was zu hohen Kräften bei einer Degression der Periodendauer führt, das heißt bei einer Abnahme der Periodendauer, beispielsweise infolge einer Leichtgängigkeit des translatorisch bewegbaren Bauteils, was ebenfalls zu erhöhten Einklemmkräften führt.

20

Alters- und verschleißbedingte Veränderungen im Verlauf des Verstellwegs des translatorisch bewegbaren Bauteils werden bei dem bekannten Verfahren durch Parameteränderungen kompensiert, was eine Nachführung des Regelalgorithmus und ein entsprechend aufwändiges Regelungsverfahren bedingt.

25

Schließlich sind die bekannten Verfahren an die Auswahl einer bestimmten Anzahl unterschiedlicher Parameter gebunden, die für das Abschalten bzw. Reversieren des translatorisch bewegbaren Bauteils maßgeblich sind, was bei einer größeren Parameterzahl einen entsprechenden Aufwand an Sensorik und Regelungstechnik mit sich bringt.

30

Aus der DE 101 96 629 T1 ist die Anwendung eines neuronalen Netzes in einem Sensorsystem für ein angetriebenes Schließsystem und ein Verfahren zum bedarfsweisen Verhindern des Schließens eines angetriebenen Schließsystems bekannt, bei dem das Sensorsystem Gegenstände vor dem Einklemmen durch einen Näherungssensor erkennt. Die bei den vorstehend angegebenen bekannten Verfahren auftretenden Probleme beziehen sich jedoch auf eine Erfassung von Signalen der Antriebseinrichtung, was

35

eine Auswertung und Fehlerkorrektur wegen der wechselseitigen Einflussgrößen besonders schwierig macht.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils anzugeben, das die unterschiedlichen Einflussgrößen auf die Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft berücksichtigt, an Veränderungen der Einflussgrößen automatisch anpassbar ist und eine hohe Flexibilität bei der Berücksichtigung der Einflussgrößen auf einen Einklemmschutz aufweist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Die erfindungsgemäße Lösung stellt ein Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere durch Ermittlung einer Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft, mit einstellbarer Empfindlichkeit zur Verfügung, das die unterschiedlichsten Einflussgrößen auf die Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft berücksichtigt, an Veränderungen der Einflussgrößen automatisch anpassbar ist und eine hohe Flexibilität bei der Berücksichtigung der Einflussgrößen auf einen Einklemmschutz aufweist.

Im einzelnen stellt die erfindungsgemäße Lösung sicher, dass

- die Empfindlichkeit der Kraftermittlung bei niedrigen Federraten einstellbar ist;
- Änderungen der Versorgungsspannung nicht zu hohen Kraftschwankungen und insbesondere Spannungssprünge nicht zu einem Reversieren der Verstellbewegung oder zu einer Überkompensation führen;
- ein großer Spannungsbereich von beispielsweise 8-17 V gewährleistet ist;
- eine Überlagerung eines Kraftaufbaus bei einer Beschleunigung rechtzeitig erkannt wird;
- fortlaufend Veränderungen im Verstellweg des verstellbaren Bauteils erfasst werden;
- die Abschaltkraft des Einklemmschutzes kontinuierlich einstellbar ist;
- die Art der Signalerfassung beliebig ist und
- eine einfache Anpassung an kundenspezifische Forderungen möglich ist.

Die erfindungsgemäße Lösung nutzt die Vorteile eines neuronalen Netzes bei der Ermittlung einer Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft, nämlich

- 5 - die Fähigkeit, aus gegebenen Daten selbständig zu lernen, ohne dafür explizit programmiert werden zu müssen,
- das Erkennen von gespeicherten Mustern auch dann, wenn das Eingabemuster in der Lernphase unvollständig oder ein Teil davon fehlerhaft ist sowie
- von gelernten auf nicht gelernte Probleme zu schließen.

- 10 Vorzugsweise wird eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung durch eine Veränderung der Periodendauer und/oder des Motorstroms und/oder der Motorspannung eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung ermittelt.

- 15 Das erfindungsgemäße Verfahren macht von einer direkten oder indirekten Erkennung eines Einklemmfalles durch ein Ansteigen der Periodendauer oder des Motorstromes unter Berücksichtigung der Motorspannung des Antriebsmotors der Antriebseinrichtung bzw. durch eine Verknüpfung eines Teils oder sämtlicher Signale Gebrauch. Während im Einklemmfall, der vorzugsweise bei verschiedenen Federraten von beispielsweise 2N/mm, 10N/mm, 20N/mm und 65N/mm mit einem 4mm Stab ermittelt wird, das verstell-
- 20 bare Bauteil angehalten oder reversiert wird, führt ein Spannungssprung, ein Einlaufen des verstellbaren Bauteils in eine Dichtung oder eine sonstige, auch witterungsbedingte Schwergängigkeit im Verstellweg des verstellbaren Bauteils sowie der Anlauf der Antriebseinrichtung zu einer Fortsetzung der Verstellbewegung.

- 25 Während bei vielen der bekannten Verfahren zusätzliche Sensoren wie beispielsweise Näherungssensoren, Beschleunigungssensoren und dergleichen eingesetzt werden, erfolgt bei der erfindungsgemäßen Lösung eine Auswertung der Periodendauer und oder des Motorstroms und/oder der Motorspannung und somit ohne den zusätzlichen Herstellungsaufwand durch die Installation entsprechender Sensoren in Verbindung mit einer
- 30 Einrichtung zur Auswertung der Sensorsignale mit einem geeigneten Algorithmus, der auf viele Einklemmfälle nicht oder nur ungenügend reagiert.

- Die aus der Antriebseinrichtung ableitbaren Eingangssignale können wahlweise parallel, d.h. gleichzeitig, oder seriell, beispielsweise im Multiplexverfahren, an die Eingangsneuronen der Eingangsschicht des neuronalen Netzes abgegeben werden.
- 35

Damit das neuronale Netz in der Lage ist, zu lernen, werden die Eingänge der Eingangsschicht, der verborgenen Schicht und der Ausgangsschicht sowie die Verbindungen der Eingangsschicht mit der mindestens einen verborgenen Schicht, die Verbindungen der mehreren verborgenen Schichten untereinander und die Verbindung einer verborgenen
5 Schicht mit der Ausgangsschicht verschieden stark gewichtet, wodurch die Verbindungen zwischen den einzelnen Schichten unterschiedliche Stärke haben.

Weiterhin besitzen die verborgenen Neuronen der mindestens einen verborgenen Schicht und das mindestens eine Neuron der Ausgangsschicht einen konstanten
10 Schwellwert oder Bias, der den Ausgang der Transferfunktionen der Neuronen in einen stetigen Bereich verschiebt. Dabei sind der Bias und die Gewichte Konstanten, die in der Anwendung bzw. einem Serieneinsatz nicht mehr verändert, beziehungsweise nachgelernt werden. Sie werden einmal vor dem Serieneinsatz ermittelt und beispielsweise in einem EEPROM abgelegt. Der Algorithmus kann dann, falls sich Schwachpunkte im Algo-
15 rithmus aufzeigen, durch eine neue Parametereinstellung, d.h. durch Nachlernen verbessert werden. In der Anwendung jedoch bleiben sowohl die Gewichte als auch der Bias bestehen.

In einer Lernphase werden an die Eingangsneuronen, verborgenen Neuronen und/oder
20 Ausgangsneuronen des neuronalen Netzes zufällige Gewichte vergeben, verschiedene an die Eingangsneuronen angelegte Eingangsmuster vorgegeben und der dazugehörige mindestens eine Ausgangswert berechnet wird und in Abhängigkeit vom Unterschied zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und mindestens einem Soll-Ausgangswert die Gewichte und/oder der Schwellenwert verändert. Dabei hängt das
25 Maß der Änderung der Gewichte von der Größe des Unterschieds zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und dem mindestens einen Soll-Ausgangswert ab.

Die Messung des Ausgangswertes erfolgt vorzugsweise mit einer Kraftmesszange bei unterschiedlichen Federraten, insbesondere bei 2 N/mm und 20 N/mm, wobei die Kraft-
30 messzange analog zu den Eingangswerten den gemessenen Ausgangswert ausgibt.

Entsprechend der direkten oder indirekten Signalerfassung, mit der das Abbremsen der Antriebseinrichtung durch einen Anstieg der Periodendauer und/oder der Stromaufnahme eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung ermittelt wird, werden den Eingangs-
35 neuronen als Eingangssignale die Motorperiode und oder der Motorstrom und/oder die Motorspannung des Antriebsmotors eingegeben.

Als zusätzliches Eingangssignal wird den Eingangsneuronen eine Adaptionperiode eingegeben, die die bei einer vorgegebenen Referenzspannung berechnete Periode angibt, die zur Position einer in der Lernphase abgelegten Referenzwegstrecke gehört.

5

In der Lernphase kann die Adaptionperiode in einem kleineren als dem in der Anwendung verwendeten neuronalen Netz berechnet werden, wobei die Adaptionperiode gemittelt wird, indem bei jeder vollen Umdrehung oder in 4 Viertelperioden des Antriebsmotors das neuronale Netz eine neue Adaptionperiode errechnet, die bei der nächsten Verstellbewegung als Adaptionperiode zur Verfügung gestellt wird.

10

In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung bestehen die Eingangswerte der Eingangsneuronen aus den Werten eines Adaptionanlaufs des verstellbaren Bauteils, den Werten einer Adaptionperiode beim Verstellen des verstellbaren Bauteils, einem Anlauf-
flag, den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Spannungswerte des Antriebsmotors, den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Periodenwerte, der Antriebsmotor-
temperatur, der Außentemperatur, einem Geschwindigkeitssignal, einem Schwingflag
und einem vorangegangenen Ausgangswert, während als Ausgangswert eines Aus-
gangsneurons die neuronal ermittelte Kraft abgegeben wird.

15

20

In der Lernphase des neuronalen Netzes werden an die Eingangsneuronen Eingangsmuster angelegt und die von dem mindestens einen Ausgangsneuron abgegebenen Kraftwerte in Abhängigkeit von der gewünschten Empfindlichkeit des Systems bei niedrigen Federraten ausgewählt bzw. vorgegeben. Dabei besteht der Lernanteil in der Lern-
phase des neuronalen Netzes insbesondere aus der Adaptionperiode, die nach jedem Lauf neu in der Anwendung ermittelt wird.

25

Die Lernphase erfolgt nach einem weiteren Merkmal der Erfindung vor der betriebsgemäßen Anwendung in einem Fahrzeug, während bei der betriebsgemäßen Anwendung die in der Lernphase ermittelten Gewichte des neuronalen Netzes festgelegt werden.

30

Die Verarbeitung von Absolutwerten erfordert zum einen Korrekturkurven, um die Verhaltensweise bzw. absolute Ausgangswerte beispielsweise eines Antriebssystems bei unterschiedlichen Parametern zu ermitteln, was zu erheblichen Ungenauigkeiten führt, und
zum anderen eine große Anzahl von Eingangsneuronen, um die verschiedenen Einfluss-
faktoren hinreichend zu berücksichtigen, was wiederum zu einer erheblichen Rechenleis-

35

tung des für die Nachbildung eines neuronalen Netzes eingesetzten Mikroprozessors bedeutet. Zur Vermeidung beider Nachteile wird in einer Weiterbildung der Erfindung eine Adaptionseinrichtung zur Ermittlung von auf einen Referenzwert normierten Signalen der Antriebseinrichtung und Abgabe von Adaptionswerten an die Eingangsschicht des neuronalen Netzes eingesetzt.

Vorzugsweise gibt die Adaptionseinrichtung die Adaptionswerte in Abhängigkeit von der jeweiligen Position des translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils an Eingangsneuronen als zusätzliches Eingangssignal ab.

Die Adaptionseinrichtung kann wahlweise aus einem Modell der Antriebseinrichtung, einem Fuzzy-System, einem mathematischen Modell mit einem genetisch generierten Algorithmus, insbesondere aber auch aus einem neuronalen Adaptionsnetz bestehen, dessen Eingangsneuronen mit mindestens einem Signal der Antriebseinrichtung beaufschlagt sind und dessen mindestens ein Ausgangsneuron die positionsabhängigen Adaptionswerte an das neuronale Netz abgibt.

Um das Verhalten der Antriebseinrichtung bei unterschiedlichen Motorspannungen des Antriebsmotors zu ermitteln, wird die jeweilige Motorspannung auf eine Referenzspannung bezogen, wobei die dem neuronalen Netz vom neuronalen Adaptionsnetz zur Verfügung gestellten Daten der Periode des zugehörigen Moments auf die Referenzspannung bezogen sind, so dass die auf die Referenzspannung geeichte Referenzkurve bei unterschiedlichen Momenten stets korrekt berechnet wird. Als Eingangsdaten des neuronalen Adaptionsnetzes werden dabei die Perioden oder die Summe über mehrere Perioden und die dazugehörige Motorspannung zugeführt und das neuronale Adaptionsnetz ermittelt dann im Lauf indirekt das jeweilige Moment und stellt die zugehörige Periode bei der Referenzspannung dem die Einklemm-, Verstell- oder Überschusskraft ermittelnden neuronalen Netz als Eingangswert zur Verfügung.

Zur weiteren Steigerung der Genauigkeit bei der Ermittlung der jeweiligen Verstellkraft der Antriebseinrichtung mittels des neuronalen Netzes können die Eingangsneuronen des neuronalen Adaptionsnetzes mit Zusatzparametern wie der Umgebungstemperatur, Klimadaten oder der Temperatur und des Abkühlverhaltens des Antriebsmotors der Antriebseinrichtung beaufschlagt werden.

Da bislang verwendete Algorithmen zum Erkennen eines Einklemmzustandes bei niedrigen Federraten sehr empfindlich sind, um bei hohen Federraten niedrige Einklemmkräfte zu erzielen, führen niedrige Kräfte bei niedrigen Federraten häufig zu einem fehlerhaften Reversieren des Antriebsmotors.

5

Um ein fehlerhaftes Reversieren des Antriebsmotors beispielsweise aufgrund von Änderungen der Verstellkraft des Fensterhebersystems oder Veränderungen des Antriebsmotors zu vermeiden, wird nach einem weiteren Merkmal der Erfindung der Antriebsmotor in Abhängigkeit vom Ausgangswert des neuronalen Netzes und der Federrate der Antriebseinrichtung angehalten oder reversiert. Dabei kann die Verknüpfung der Federrate der Antriebseinrichtung mit dem Ausgangswert des neuronalen Netzes mittels einer Logikschaltung, eines mathematischen Modells mit einem Algorithmus oder mittels eines neuronalen Verknüpfungsnetzes erfolgen.

10

Demzufolge wird die Drehzahldifferenz bei unterschiedlichen Perioden des Antriebsmotors genutzt, um hohe Federraten von niedrigen Federraten zu unterscheiden. Die Entscheidung für einen Einklemmzustand wird dementsprechend in Abhängigkeit von dem der Verstellkraft entsprechenden Ausgangswert des neuronalen Netzes und der aus der Drehzahldifferenz ermittelten Federrate getroffen.

20

Zur Verknüpfung der Federrate der Antriebseinrichtung mit dem Ausgangswert des neuronalen Netzes wird die Drehzahl des Antriebsmotors erfasst, die Drehzahldifferenz zwischen zwei Perioden gebildet und mit dem Ausgangswert des neuronalen Netzes derart verknüpft wird, dass

25

- beim Überschreiten eines ersten Abschalt-Schwellwertes des Ausgangswertes des neuronalen Netzes und einer Drehzahldifferenz, die kleiner ist als ein vorgegebener Drehzahldifferenz-Schwellwert, der Antriebsmotor bis zum Ende der Verstellbewegung nur dann angehalten oder reversiert wird, wenn der Ausgangswert des neuronalen Netzes einen zweiten Abschalt-Schwellwert überschreitet, der größer ist als der erste Abschalt-Schwellwert,

30

- beim Überschreiten eines ersten Abschalt-Schwellwertes des Ausgangswertes des neuronalen Netzes und einer Drehzahldifferenz, die größer ist als ein vorgegebener Drehzahldifferenz-Schwellwert der Antriebsmotor angehalten oder reversiert wird, oder

35

- beim Überschreiten des zweiten Abschalt-Schwellwertes unabhängig von der Drehzahldifferenz der Antriebsmotor angehalten oder reversiert wird.

Vorzugsweise wird beim Überschreiten des ersten Abschalt-Schwellwertes des Ausgangswertes des neuronalen Netzes und einer Drehzahldifferenz, die kleiner ist als ein vorgegebener Drehzahldifferenz-Schwellwert, ein Anhalten oder Reversieren des Antriebsmotors gesperrt oder verriegelt, auch wenn die Drehzahldifferenz bei der weiteren Verstellbewegung der Antriebseinrichtung größer ist als der vorgegebene Drehzahldifferenz-Schwellwert.

Neuronale Netze werden im Stand der Technik in Steuerungsvorrichtungen für Verstell-einrichtungen eines Kraftfahrzeugteiles eingesetzt.

Als Kraftfahrzeugteile kommen dabei grundsätzlich sämtliche motorisch verstellbaren ausgebildeten Kraftfahrzeugteile in Betracht. Dies sind insbesondere solche Kraftfahrzeugteile, deren Verstellweg derart ausgebildet ist, dass die Möglichkeit des Einklemmens von Hindernissen zwischen dem Kraftfahrzeugteil und anderen Bauelementen des Kraftfahrzeuges besteht. Dies sind insbesondere Fensterscheiben, Schiebetüren, Gurtbringer und Kraftfahrzeugsitze.

Bekannte Steuerungsvorrichtungen sind derart eingerichtet und ausgebildet, Messgrößen in einer Elektronikeinrichtung mit dem neuronalen Netz auszuwerten und zur Steuerung der Verstelleinrichtung zu nutzen.

Derartige Messgrößen umfassen sämtliche im Zusammenhang mit dem Kraftfahrzeug und dessen Bauelementen erdenklichen Parameter. Dies sind insbesondere auf das Kraftfahrzeug einwirkende Beschleunigungen, die Kraftfahrzeuggeschwindigkeit, die Verstellgeschwindigkeit und die Verstellkraft der Verstelleinrichtung oder deren Leistungsaufnahme.

Wie bereits ausgeführt stellen die Gewichte des neuronalen Netzes wesentliche Parameter für die Funktion der Netze dar. Jede Verbindung zwischen zwei Neuronen ist durch ein solches Gewicht charakterisiert, das üblicherweise in Form eines Zahlenfaktors gegeben ist. Ein an einem Neuron auftretendes Eingangssignal wird jeweils mit den zugeordneten Gewichten der entsprechenden Verbindungen zu den benachbarten Neuronen multipliziert. Die optimale Kombination einer für eine reibungslose Funktion des neuronalen Netzes erforderlichen Vielzahl von Gewichten, lässt sich in einem so genannten Lernprozess ermitteln. Diese definierte Menge an Gewichten wird auch als Satz von Ge-

wichten bezeichnet. Der einmal gelernte Satz an Gewichten kann in einem dem neuronalen Netz zugeordneten Speicherelement abgelegt werden.

5 Ein solcher Lernprozess simuliert eine Vielzahl von Zuständen eines Kraftfahrzeuges und seiner Bauelemente, die während der Nutzung des Kraftfahrzeuges auftreten können. Es ist selbstverständlich, dass ein auf diese Weise ermittelter Satz an Gewichten für das neuronale Netz nicht allen erdenklichen Zuständen des Kraftfahrzeuges und seiner Bauelemente gleich gut gerecht werden kann.

10 Aus diesem Grund werden häufig aufwändige elektronische Filterschaltungen eingesetzt, um das Fehlverhalten der Steuerungsvorrichtung bei einigen Zuständen des Kraftfahrzeuges und/oder der Verstelleinrichtung zu vermeiden. Diese Filterschaltungen neigen jedoch teilweise zum Überkompensieren oder reagieren unzuverlässig.

15 Somit stellt es eine Aufgabe dar, eine Steuerungsvorrichtung der vorangehend beschriebenen Art darzustellen, die bei der großen Zahl unterschiedlicher Zustände eines Kraftfahrzeuges und seiner Bauelemente möglichst zuverlässig funktioniert, wobei die Steuerungsvorrichtung einfach und kostengünstig herstellbar sein soll.

20 Zur Lösung dieser Aufgabe ist eine dem neuronalen Netz zugeordnete Speichereinheit vorgesehen, die mindestens zwei Sätze gespeicherter Gewichte für das neuronale Netz aufweist. Jeder Satz an Gewichten ist einem Zustand des Kraftfahrzeuges und/oder einem Zustand der Verstelleinrichtung zugeordnet, wobei das neuronale Netz abhängig vom Zustand des Kraftfahrzeuges und/oder abhängig vom Zustand der Verstelleinrichtung mit dem jeweils zugeordneten Satz von Gewichten arbeitet.

25

Dadurch, dass dem jeweiligen Zustand bzw. der jeweiligen Zustandskombination ein spezifischer Satz an Gewichten für das neuronale Netz zugeordnet ist, ist der Einsatz elektronischer Filter überflüssig. Gleichzeitig wird die Zuverlässigkeit der Steuerungsvorrichtung erhöht.

30

Unter das Merkmal der Zustände des Kraftfahrzeuges und seiner Bauelemente, wie beispielsweise die Steuerungsvorrichtung und die ihr zugeordnete Verstelleinrichtung, fallen insbesondere die Fahrzeuggeschwindigkeit, von der Fahrzeugfahrtrichtung abweichende Beschleunigungen, die beispielsweise für eine Schlechtwegstrecke charakteristisch sind,

35

Schwankungen der Bordnetzspannung, der Anlauf eines der Verstelleinrichtung zuge-

ordneten Motors, Schwergängigkeiten der Verstelleinrichtung, die durch charakteristische Änderungen der Leistungsaufnahme über der zurückgelegten Wegstrecke oder der Zeit zum Ausdruck kommen, und das Zuschlagen einer Kraftfahrzeugtür.

- 5 Insbesondere schwankende Bordnetzspannungspegel führen zu zeitlichen Veränderung der Versorgungsspannung der Verstelleinrichtung. Dadurch besteht die Gefahr, dass diese zeitlichen Veränderungen von einer Auswerteelektronik beispielsweise im Hinblick auf die elektronischen und/oder mechanischen Parameter der Verstelleinrichtung falsch interpretiert werden.

10

Die Erfindung ermöglicht es, für ausgewählte Zustände bzw. Zustandskombinationen speziell angepasste, zugeordnete Sätze von Gewichten für das neuronale Netz der Steuerungsvorrichtung vorzusehen. Diese Mehrzahl an Gewichtssätzen sind in einer der Elektronikeinrichtung zugeordneten Speichereinheit abgelegt und stehen beim Eintritt
15 des entsprechenden Zustands bzw. der Zustandskombination hinreichend schnell für das neuronale Netz zur Verfügung.

20

Bevorzugt ist das neuronale Netz derart ausgebildet und eingerichtet, dass es die Messgrößen so auswertet, dass ein Einklemmschutz für Hindernisse gewährleistet ist, die im Verstellweg des Kraftfahrzeugteiles einklemmen. Das heißt, die Elektronikeinrichtung der Steuerungsvorrichtung umfasst ein Einklemmschutzsystem für Hindernisse im Verstellweg des bewegten Kraftfahrzeugteils.

25

Es ist von Vorteil, wenn die unterschiedlichen Sätze an Gewichten jeweils unterschiedliche Empfindlichkeiten der Verstelleinrichtung im Hinblick auf das Detektieren im Verstellweg des Kraftfahrzeugteiles einklemmender Hindernisse realisieren. Dadurch erhält das Einklemmschutzsystem abhängig von der festgestellten Federrate des bewegten Kraftfahrzeugteiles unterschiedliche Ansprechschwellen. Beispielsweise beim Kraftfahrzeug-Zustand des Befahrens einer Schlechtwegstrecke oder dem Kraftfahrzeug-Zustand
30 des Zuschlagens einer Kraftfahrzeugtür ist es vorteilhaft, wenn der zum Einsatz kommende Satz an Gewichten bei einer als Fensterhebereinrichtung ausgebildeten Verstelleinrichtung derart ausgebildet ist, dass detektierte Federraten über einem Schwellwert von 20 N/mm ausgeblendet werden. Dies lässt sich beispielsweise dadurch realisieren, dass die Ansprechschwelle des Einklemmschutzsystems für Federraten über 20 N/mm
35 deutlich erhöht ist.

Das auf diese Weise erzielte Ausblenden höherer Federraten führt dazu, dass beispielsweise bei einer Fensterhebereinrichtung die Fälle eines fehlerhaften Stoppens bzw. Reversierens der Fensterscheibe deutlich reduziert werden.

- 5 Selbstverständlich lassen sich die Gewichtssätze des neuronalen Netzes derart ausbilden, dass andere Federraten-Schwellwerte als 20 N/mm eingestellt sind. Auf diese Weise lassen sich Anpassungen an die jeweils zu erfüllenden regional unterschiedlichen gesetzlichen Vorschriften vornehmen.
- 10 Bevorzugt ist die Elektronikeinrichtung derart ausgebildet, dass sich die Gewichtssätze auf einfache Weise austauschen oder verändern lassen. Eine Art der Veränderung der Gewichtssätze stellt das so genannte „Erlernen“ dar. Dabei werden in das neuronale Netz die Eingangs-Messgrößen spezifischer Zustände, beispielsweise typischer Schlechtwegstrecken, eingespeist. Bei diesem Prozess werden die Gewichte variiert, bis
- 15 das gewünschte Ausgangssignal vorliegt.

Eine vorteilhafte Ausführungsform der Steuerungsvorrichtung umfasst eine Elektronikeinrichtung mit mindestens einer Schnittstelle zur Ermittlung der Zustände von Kraftfahrzeug- und/oder Verstelleinrichtung. Diese Schnittstellen sind üblicherweise als Busknoten eines CAN-(Controller Area Network) oder als LIN-(Local Interconnect Network)-Bussystems ausgebildet.

20

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sollen nachfolgend an den in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

25

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Systems zum Ermitteln der Kraft, mit der eine Antriebseinrichtung einen Fensterheber in einer Kraftfahrzeugtür zum Verstellen einer Fensterscheibe antreibt;

30

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines im System gemäß Fig. 1 verwendbaren neuronalen Netzes;

Fig. 3 bis 6 zeitliche Darstellungen verschiedener Parameter beim Verstellen des Fensterhebersystems gemäß Fig. 1;

35

- Fig. 7 eine schematische Darstellung eines Eingangsmusters eines Backpropagation-Netzwerks;
- 5 Fig. 8 eine schematische Darstellung der Vorspannung von Neuronen des Netzwerks gemäß Fig. 7;
- Fig. 9 bis 11 weitere Eingangsmuster des Backpropagation-Netzwerks gemäß Fig. 7;
- 10 Fig. 12 eine zeitliche Darstellung des Lernerfolges bei vorgegebenen Eingangsmustern der Netzwerke gemäß den Fig. 7, 9, 10 und 11 bei zwei unterschiedlichen Spannungen;
- 15 Fig. 13 ein schematische Darstellung eines neuronalen Adaptionnetz zur Ermittlung einer Referenzperiode bei einer Antriebsmotorspannung von 9 V;
- Fig. 14 das neuronale Adaptionnetz gemäß Fig. 13 zur Ermittlung einer Referenzperiode bei einer Antriebsmotorspannung von 16 V;
- 20 Fig. 15 eine schematische Darstellung des Drehmomentverlaufs über den Verstellweg bei unterschiedlichen Probeläufen der Antriebseinrichtung;
- Fig. 16 eine schematische Darstellung der Drehzahldifferenz über den Verstellweg bei unterschiedlichen Probeläufen der Antriebseinrichtung;
- 25 Fig. 17 ein Flussdiagramm zur Verknüpfung des der Verstellkraft des neuronalen Netzes entsprechenden Ausgangswertes mit der erfassten Drehzahldifferenz;
- 30 Fig. 18a das schematische Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform einer Steuerungsvorrichtung mit einem neuronalen Netz;
- Fig. 18b das schematische Blockschaltbild einer zweiten Ausführungsform einer Steuerungsvorrichtung mit einem neuronalen Netz und
- 35 Fig. 19 eine schematische Darstellung der veränderlichen Ansprechschwelle der Steuerungsvorrichtung der Figuren 18a und 18b in Abhängigkeit von der

detektierten Federrate eines mit der Verstelleinrichtung bewegten Kraftfahrzeug-Teiles.

Fig. 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Steuer- und Regelsystems für einen motorisch angetriebenen Fensterheber 2 in einer Kraftfahrzeugtür 1. Der Fensterheber 2 weist eine Hebeschiene 21 auf, an der eine Fensterscheibe 22 als verstellbares Bauteil befestigt ist. Die Hebeschiene 21 ist mittels einer Hebevorrichtung 23 und eines zusammen mit dem Fensterheber 2 eine Antriebseinrichtung bildenden Antriebsmotors 3 beweglich, so dass die Fensterscheibe 22 angehoben und abgesenkt werden kann. Der Antriebsmotor 3 wird aus einer Spannungsquelle 5 über eine Schalteinrichtung 4 gespeist, die sowohl die Drehzahl als auch die Drehrichtung des Antriebsmotors 3 bestimmt.

Ein als Steuer- und Regelelektronik dienender Mikroprozessor 60 versorgt die Schalteinrichtung 4 mit Steuer- und Regelsignalen und ist mit einer Bedienungseinheit 7, beispielsweise mit den Tasten oder Schaltern zur Bedienung des Fensterhebers 2, verbunden. Eine temporäre Verbindung kann mit einem Mikrocomputer 8 zur Durchführung einer oder mehrere Lernphasen des Mikroprozessors 60 hergestellt werden.

Da beim Schließen der durch die Fensterscheibe 22 abdeckbaren Türöffnung durch Anheben der Fensterscheibe 22 die Gefahr eines Einklemmens von Körperteilen oder Gegenständen zwischen dem Rand der Fensterscheibe 22 und dem Türrahmen der Kraftfahrzeugtür 1 besteht, ist bei Antriebsmotorisch angetriebenen Fensterhebern eine Einklemmschutzeinrichtung vorgeschrieben, mit der das Einklemmen eines Objekts erkannt wird und zu einem Anhalten bzw. Reversieren des Antriebsmotors 3 und damit der Bewegungsrichtung des Fensterhebers 2 führt.

Der Einklemmschutz muss gewährleisten, dass die auf ein im Verstellweg der Fensterscheibe 22 befindliches Körperteil bzw. auf einen Gegenstand wirkende Einklemmkraft einen gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwert nicht überschreitet. Dabei muss im oberen Dichtungsbereich gewährleistet sein, dass einerseits die Fensterscheibe 22 sicher schließt, wozu zur Überwindung des durch die Fensterdichtung gegebenen Widerstandes eine erhöhte Verstellkraft aufgebracht werden muss, andererseits muss diese Verstellkraft aus Sicherheitsgründen derart dimensioniert sein, dass ein 4 mm-Stab erkannt wird und der Einklemmschutz den Fensterheber 2 abschaltet bzw. reversiert. Das bedingt, dass auch Beschleunigungskräfte, die durch äußere Einflüsse, wie eine Schlecht-

wegstrecke, mit der dadurch bedingten Beschleunigung des Fahrzeugs senkrecht zur Fahrtrichtung sicher erkannt werden, um Fehlfunktionen des Einklemmschutzes auszuschließen.

5 Zu diesem Zweck wird der zur translatorischen Verstellung der Fensterscheibe 22 eigentlich nur notwendigen Kraft eine als Reversierkraft bezeichnete Kraft aufgeprägt, deren Größe begrenzt ist. Die Summe beider Kräfte ist gleich der von der Antriebseinrichtung abgegebenen Verstellkraft, die zur Verstellung der Fensterscheibe 22 verwendet wird. Die Reversierkraft stellt daher eine Kraftreserve zur Überwindung zusätzlicher Gegen-

10 kräfte dar. Sie kann in den verschiedenen Teilbereichen des Gesamt-Verstellweges der Fensterscheibe 22 eine unterschiedliche Begrenzung aufweisen, die beispielsweise aufgrund des hohen Widerstandes der Fensterdichtung im oberen Bereich des Verstellweges, wo die Fensterscheibe 22 in die Türdichtung einläuft, höher gewählt wird als in dem darunter befindlichen Verstellbereich, so dass ein sicheres Einfahren der Fensterscheibe

15 in den Dichtungsbereich gewährleistet ist.

Erfindungsgemäß erfolgt die Steuerung und Regelung der Schalteinrichtung 4 zum Betrieb des Antriebsmotors 3 der Antriebseinrichtung durch ein mittels des Mikroprozessors 60 ausgeführtes neuronales Netz 6, dessen Struktur schematisch in der Fig. 2 dargestellt

20 ist.

Die Bestandteile des in Fig. 2 dargestellten neuronalen Netzes 6 sind Neuronen 10, 11, 12, die aus einem Eingabevektor, einem Gewichtsvektor, und einer Transferfunktion mit einer Aktivierungs- und Ausgabefunktion bestehen. Das neuronale Netz 6 besteht somit

25 aus einer Menge von in Schichten 61, 62, 63, 64 angeordneten Neuronen 10, 11, 12 und gewichteten Verbindungen 14, 15, 16 und besitzt die Struktur eines gerichteten Graphen, für den folgende Einschränkungen und Zusätze gelten:

- Die Knoten des neuronalen Netzes werden durch die Neuronen 10, 11, 12 gebildet
- 30 - Die Kanten des neuronalen Netzes heißen Verbindungen
- Es gibt gewichtete Verbindungen zwischen den Neuronen benachbarter Schichten 61, 62, 63, 64
- Die Eingangs- oder Eingabeschicht 61 dient zur Aufnahme der Eingangssignale
- Eine oder mehrere verborgene Schichten 62, 63 dienen der Verarbeitung der von
- 35 den Eingangsneuronen 10 der Eingabeschicht 61 abgegebenen Signale und erlauben die Abbildung komplexer Funktionen

- Die Ausgangs- oder Ausgabeschicht 64 gibt das aus den verarbeiteten Eingangssignalen ermittelte Resultat ab.

Damit das neuronale Netz 6 in der Lage ist, zu lernen, müssen die einzelnen Eingänge eines Neurons 10, 11, 12 verschieden stark gewichtet werden können. Die Gewichtung bewirkt, dass die Verbindungen zwischen den einzelnen Schichten 61, 62, 63, 64 unterschiedliche Stärke haben, so dass die Verbindungen zwischen der Eingangsschicht 91 und der Ausgangsschicht 94 die durch die Eingangssignale eingegebenen Informationen nicht immer optimal übertragen, sondern

- überhaupt nicht, wenn das Gewicht der Verbindung 0 ist, das heißt, keine Verbindung besteht,
- die Verbindung hemmen, wenn das Gewicht negativ ist, und
- die Verbindung anregen, wenn das Gewicht größer Null ist.

Zur Erfassung eines Einklemmzustandes wird das Abbremsen der Antriebseinrichtung durch einen Anstieg der Periodendauer und/oder der Stromaufnahme eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung ermittelt. Wird bei dieser indirekten Erkennung die Stromaufnahme des Antriebsmotors ermittelt, so werden als Eingangswerte beispielsweise die letzten 12 Stromwerte der Motorstromaufnahme, ein Adaptionstrom, der das Motormoment bei einer Motorspannung von beispielsweise 13 V widerspiegelt und die letzten 3 Spannungswerte erfasst. Bei einer Periodenauswertung werden beispielsweise die letzten z.B. 12 Periodenwerte, eine Adaptionsperiode, die bei einer Normierspannung von z.B. 13 V gemessen wird, und die letzten 3 Spannungswerte erfasst. In einer Lernphase wird dabei mit einer Kraftmesszange mit Werten von 2 N/mm und 20 N/mm angelehrt, die analog zu den Eingangssignalen den gemessenen Ausgangswert von beispielsweise 0 – 160 N mit ausgibt, so dass das neuronale Netz in der Anwendung einen Teil der Verschiebekraft mit ausgibt und bei einem Einklemmen die aufgebaute Kraft.

Das in Fig. 2 dargestellte neuronale Netz 6 weist in der Eingangsschicht 61 eine Anzahl von 24 Eingangsneuronen 10 auf, an die mit unterschiedlichem Gewicht verschiedene Eingangssignale wie die Periodendauer und/oder die Stromaufnahme des Antriebsmotors 3 gemäß Fig. 1, Spannungswerte, ein den Anlauf des Antriebsmotors 3 angegebendes Anlauf-Flag sowie Adaptionsperioden bestehen, die eine zur jeweiligen Position eines in einer Lernphase durchgeführten und abgelegten Referenzhubs zugehörige Periode bei einer vorgegebenen Referenzspannung bezeichnen. Die Adaptionsperiode wird – wie

nachstehend anhand der Fig. 13 bis 15 näher erläutert wird - in einem kleineren als dem in der Anwendung verwendeten neuronalen Adaptionsnetz berechnet und gemittelt, d.h. bei jeder vollen Umdrehung (4 Viertelperioden) des Antriebsmotors errechnet das neuronale Netz eine neue Adaptionsperiode, die im nächsten Fensterheberhub als Adaptionsperiode zur Verfügung gestellt wird. Der Wertebereich wird hauptsächlich durch vorkommende Minimal und Maximal-Werte bestimmt, wobei versucht wird, die Eingangsmuster Inputs möglichst zwischen 0 und 1 zu legen.

Jedes Eingangsneuron 10 der Eingangsschicht 61 ist über eine Vielzahl von Verbindungen 14, denen unterschiedliche positive oder negative Gewichte zugeordnet sind, mit den verborgenen Neuronen 11 einer ersten verborgenen Schicht 6 verbunden. Auch die verborgenen Neuronen 11 der ersten verborgenen Schicht 62 weisen unterschiedliche positive und negative Gewichte auf und sind über mehrere ebenfalls positiv oder negativ gewichtete Verbindungen 15 mit den verborgenen Neuronen 11 einer zweiten verborgenen Schicht 63 verbunden, deren Eingänge ebenfalls unterschiedlich positiv oder negativ gewichtet sind. Schließlich sind die verborgenen Neuronen 11 der zweiten verborgenen Schicht 63 über ebenfalls positiv oder negativ gewichtete Verbindungen 16 mit einem Ausgangsneuron 12 der Ausgangsschicht 64 verbunden, an dem der aus den Eingangswerten ermittelte Ausgangswert ansteht.

Die Gewichtung der Eingänge und Verbindungen der Neuronen des in Fig. 2 dargestellten mehrstufigen neuronalen Netzes 6 erfolgt nach einer ersten empirischen Vorgabe in einer Lernphase, in der neue Verbindungen entwickelt, existierende Verbindungen gelöscht, die Stärken der Verbindungen durch Veränderung der Gewichte modifiziert, Schwellenwerte und Transferfunktionen modifiziert, neue Neuronen entwickelt und bestehende Neuronen gelöscht werden. Von diesen Möglichkeiten des Lernens in der Lernphase wird bei dem erfindungsgemäß verwendeten neuronalen Netz 6 insbesondere von der Modifikation der Stärke der Verbindungen durch Veränderung der Gewichte, der Modifikation des Schwellenwertes sowie der Modifikation der Transferfunktion Gebrauch gemacht.

In der Lernphase werden im ungelernten Zustand zunächst zufällig Gewichte vergeben. Nach dem Prinzip des überwachten Lernens werden anschließend verschiedene Eingangsmuster vorgegeben und der zugehörige Ausgangswert berechnet. Anschließend wird die Differenz zwischen dem berechneten Ausgangswert und einem vorgegebenen Soll-Ausgangswert bestimmt, aus der dann über die Lernregel das neuronale Netz 6 mo-

difiziert wird. Je größer der Unterschied zwischen dem berechneten Ausgangswert und dem vorgegebenen Soll-Ausgangswert ist, desto mehr werden die Gewichte verändert, so dass der Fehler bzw. die Abweichung des berechneten Ausgangswertes vom vorgegebenen Soll-Ausgangswert von der Ausgangsschicht 64 zu den verborgenen Schichten 63, 62 und dann zur Eingangsschicht 61 zurückgerechnet wird.

Nach Abschluss der Lernphase ist das neuronale Netz 6 in der Lage, aus nicht gelernten, ähnlichen Eingangsmustern den richtigen Ausgangswert zu berechnen. Schwächen in der Funktion des neuronalen Netzes 6 können dabei durch erneutes Lernen bestimmter, vorgegebener Situationen beseitigt werden. Daraus ergeben sich im Vergleich zu bekannten Verfahren zur Ermittlung der Verstellkraft, Einklemmkraft oder Reversierkraft die Vorteile, dass keine Einzelbewertung der Eingangssignale, wie bei der Anwendung des bisherigen Algorithmus, sondern eine Interpretation der Summe aller Eingänge erfolgt. Weiterhin können nichtlineare Zusammenhänge wie das Verhalten des Antriebsmotors 3 gemäß Fig. 1 nachgebildet und mit dem bisherigen Algorithmus nicht oder nur mit Einschränkung auswertbare Signalverläufe korrekt interpretiert bzw. berechnet werden, so dass eine für einen zuverlässigen Einklemmschutz erforderlicher momentaner Kraft-Ausgangswert ermittelt wird. Diese Funktion soll anhand verschiedener in den Fig. 3 bis 6 dargestellter Signalverläufe näher erläutert werden.

20

Fig. 3 zeigt eine vereinfachte Darstellung des Verlaufs der Periodendauer des Antriebsmotors der Antriebseinrichtung über der Zeit t beim Anheben einer Fensterscheibe von ihrer untersten in die oberste Stellung, in der die Fensterscheibe die Türöffnung einer Kraftfahrzeugtür vollständig abdeckt.

25

In der Anlaufphase A sinkt die Periodendauer zunächst stark ab und steigt nach einem Minimum stark an. Das Absinken der Periodendauer ist gleichbedeutend mit einer Beschleunigung des Antriebsmotors in der Anlaufphase A, die mit einem entsprechenden Kraftaufbau verbunden ist. Nach Beendigung der Anlaufphase A bleibt die Periodendauer nahezu konstant bzw. steigt geringfügig an, da die Reibung infolge der Führung der Fensterscheibe in der Fensterdichtung mit der zurückgelegten Wegstrecke zunehmen kann. Da beim Einlauf E der Fensterscheibe in die obere Fensterscheibendichtung die Reibung stark zunimmt, steigt die Periodendauer sprunghaft an, verläuft anschließend nahezu linear bzw. geringfügig ansteigend bis sie mit dem Erreichen des oberen Anschlages steil zunimmt.

35

Dieser charakteristische Verlauf der Periodendauer beim Schließen einer Fensterscheibe führt bei dem bekannten Einklemmschutzverfahren und Einklemmschutzeinrichtungen zu hohen Kräften in der Anlaufphase A. Veränderungen auf der von der Fensterscheibe zurückgelegten Wegstrecke können nur durch Parameteränderungen kompensiert werden, damit beispielsweise beim Dichtungseinlauf die Fensterscheibe infolge erhöhter Reibung nicht stehen bleibt bzw. aufgrund des Ansprechens des Einklemmschutzes re-

5 versiert.

In den Fig. 4a und 4b sind zwei unterschiedliche Verfahren zur Erfassung eines Einklemmvorganges durch einen Verlauf der Periodendauer über der Zeitachse t dargestellt.

10

Fig. 4a zeigt eine rein relative Erfassung der Periodendauer über der Zeit t, wobei ein Einklemmfall durch einen Anstieg der Periodendauer, der mit einem entsprechenden Kraftaufbau verbunden ist, festgestellt wird. Bei der rein relativen Erfassung wird nur die zeitliche Veränderung der Periodendauer beim Verstellen der Fensterscheibe überwacht und beim Überschreiten einer Auslöseschwelle AS die Fensterscheibe angehalten bzw. re-

15 versiert, jedoch werden keine absoluten Werte erfasst oder überwacht.

Fig. 4b zeigt den Periodenverlauf über der Zeit t bei einem rein absoluten Erfassungssystem, bei dem ein Periodenanstieg ebenfalls mit einem entsprechenden Kraftaufbau verbunden ist. Die Auslösung des Einklemmschutzes erfolgt bei Überschreiten eines vorgegebenen Absolutwertes AW der Periodendauer gegenüber einer vorprogrammierten Referenzkurve R.

20

Fig. 5 zeigt einen schematischen Verlauf der Periodendauer über der Zeit t im Falle einer niedrigen Federrate, d.h. einer Federrate FR von beispielsweise 2 N/mm des Verstellsystems. Der zeitliche Verlauf verdeutlicht den langsamen Kraftaufbau infolge des geringen Anstiegs der Periodendauer über den Verstellweg nach Beendigung der Anlaufphase, wobei beispielsweise bei Anwendung eines relativen Erkennungssystems infolge des geringen Anstiegs und bei Anwendung des absoluten Erkennungssystems infolge der langen Zeitdauer bis zum Erreichen eines Abschaltkriteriums hohe Kräfte aufgebaut werden können.

25

30

Fig. 6 zeigt schematisch den Verlauf der Periodendauer T, der Position P und der (Verstell-) Kraft über der Zeitachse t beim Auftreten einer äußeren Beschleunigung, beispielsweise beim Befahren einer Schlechtwegstrecke oder in Folge einer lokal und/oder

35

zeitlich begrenzten Leichtgängigkeit im Verstellweg. Aufgrund der unterstützenden Wirkung der Beschleunigungskräfte oder der Reduzierung bzw. des Wegfalls von Reibungskräften bei der Scheibenbewegung sinkt die Periodendauer T kurzzeitig ab, das heißt, die Fensterscheibe wird kurzzeitig beschleunigt. Wird der Verstellkraft in dem Beschleunigungsbereich B eine Kraft überlagert, so tritt ein steiler Kraftaufbau K auf, der mit den bekannten Einklemmschutzverfahren nicht erkannt wird, da nur positive Periodenveränderungen detektiert werden. In dem in Fig. 6 gestrichelt dargestellten Beschleunigungsbereich B sind somit die bekannten Einklemmschutzregelungen nicht funktionsfähig.

Aufgrund der vorstehend anhand der zeitlichen Darstellungen der Periodendauer in den Fig. 3 bis 6 treten bei der Anwendung der bekannten Einklemmschutzverfahren folgende Probleme und Nachteile auf:

- a) Es treten hohe Kräfte bei niedrigen Federraten und eine schlechte Erkennung eines 4mm-Stabes in allen Richtungen auf,
- b) Es erfolgt eine Überkompensation bei Spannungssprüngen und Schlechtwegstrecken mit der Folge hoher Offsets mit sehr hohen Kräften, so dass beispielsweise ein Spannungseinbruch im Bordnetz, der mit einem Anstieg der Periodendauer verbunden ist, durch ein Offset kompensiert wird, wodurch ein Überspringen und damit verbundene große Einklemmkräfte auftreten,
- c) Eine Krafterkennung ist nur durch einen Anstieg in der Periodendauer möglich, bei einer Degression der Periodendauer (Fig. 6) können hohe Kräfte auftreten,
- d) Es treten Veränderungen im Verlauf des Verstellweges des verstellbaren Bauteils auf, zu denen schleichende Veränderungen wie Alterung, Dichtungsabrieb und Einlaufen des Fensterhebers sowie Motorunstetigkeiten gehören, die sich stets an derselben Position zeigen, und die durch Parameteränderungen kompensiert werden müssen,
- e) In der Anlaufphase treten hohe Kräfte auf.

Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren erfolgt eine getrennte Betrachtung der Eingangssignale Periode und Spannung. Ein Spannungsfiler wirkt dabei ab einer Ansprechschwelle nur in einer Richtung und eine Krafterkennung ist ausschließlich durch die Erfassung eines Anstiegs der Motorperiode möglich. Bei der erfindungsgemäßen Anwendung eines neuronalen Netzes werden dagegen im Unterschied zu dem bekannten Einklemmschutzverfahren die Eingangssignale Periode und Spannung miteinander verknüpft, so dass kein Spannungsfiler benötigt wird und Periodenänderungen in jeder Richtung detektiert werden. Weiterhin wird im Unterschied zu dem bekannten Verfahren nicht ein Offset adaptiert, sondern die Periodendauer des Antriebsmotors.

In Bezug auf die vorstehend in den Fig. 3 bis 6 dargestellten Problemfälle bei der richtigen Erkennung und Auslösung eines Einklemmschutzes führt der Einsatz eines neuronalen Netzes nach Abschluss der Lernphase zu folgenden Ergebnissen:

1. Niedrige Federraten werden einstellbar erkannt, d.h. durch die Auswahl der Lermdaten und die Vorgabe des Sollausgangs- oder Kraftwertes kann festgelegt werden, wie empfindlich das System bei niedrigen Federraten sein soll. Dies wird durch eine Festlegung des Arbeitspunktes zwischen der in Fig. 4a und 4b dargestellten relativen und absoluten Arbeitsweise erlernt, wobei der Arbeitspunkt stufenlos einstellbar ist. Durch diese Mischarbeitsweise werden niedrige Federraten und damit ein langsamer Anstieg in der Periodendauer dadurch erkannt, dass große Abweichungen vom absoluten Anteil entstehen.
2. Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren wird ein Spannungseinbruch kompensiert, was dazu führt, dass die Verlangsamung des Systems durch einen Offset auf den Abschaltwert ausgeglichen wird. Das neuronale Netz erhält dagegen die Information des Spannungseinbruchs als eine Verlangsamung der Periodendauer, wobei alle Informationen gleichberechtigt behandelt werden. Dadurch können Spannungssprünge angelernt werden, d.h. das System lernt das komplexe, nicht lineare dynamische Verhalten des Antriebsmotors. Ein Spannungsanstieg, beispielsweise in Form einer Spannungsrampe, führt somit nicht zu hohen Kräften, so dass keine hohen Kraftschwankungen, beispielsweise bei einem Anliegen einer Sinusspannung, entstehen. Der bei der Mischarbeitsweise erfasste absolute Anteil führt dazu, dass beim Befahren einer Schlechtwegstrecke festgestellt werden kann, ob die Periodendauer noch in einem gültigen Bereich liegt.

3. Durch den bei der Mischarbeitsweise erfassten absoluten Anteil wird weiterhin sichergestellt, dass auch bei einer Beschleunigung die Überlagerung eines Kraftaufbaus (Fig. 6) rechtzeitig und sicher erkannt wird, was bei den bekannten Einklemmschutzverfahren nicht möglich ist, da es immer einen nominellen Anstieg der Periodendauer geben muss, um einen Kraftaufbau zu detektieren.
4. Veränderungen am Verstellweg des verstellbaren Bauteils werden adaptiv erlernt, so dass schleichende Veränderungen, wie Alterung, Dichtungsabrieb und Einlaufen des Fensterhebers sowie Motorunstetigkeiten, die sich stets an derselben Position zeigen, durch Adaption ausgeglichen werden und keine Krafterhöhungen oder eine fehlerhafte Abschaltung oder ein fehlerhaftes Reversieren auftreten.
5. Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren kann bei Anwendung eines relativen Erkennungssystems das Anlaufverhalten der Antriebseinrichtung nur schwer von einem Einklemmfall unterschieden werden. Beim Einsatz eines neuronalen Netzes wird dieser Vorgang erlernt und gegebenenfalls durch ein Anlaufflag markiert.
6. Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren werden unterschiedliche Parameter zur Erfassung eines Einklemmfalles eingesetzt, wobei nur ein sinnvolles Zusammenspiel dieser verschiedenen Parameter zu einer hinreichend genauen Krafterfassung führt. Dagegen entscheidet beim Einsatz eines neuronalen Netzes nur ein einzelner Wert, der über das Abschalten bzw. Reversieren der Antriebseinrichtung entscheidet, nämlich der Ausgangswert der Ausgangsschicht, so dass eine kontinuierliche Einstellung der den Einklemmschutz auslösenden Abschaltkraft möglich ist.

In den Fig. 7 bis 12 ist ein Backpropagation Netzwerk schematisch vereinfacht dargestellt, das zum Ermitteln der Kraft, mit der eine Antriebseinrichtung über einen Fensterheber eine Fensterscheibe als verstellbares Bauteil verstellt oder ein im Verstellweg der Fensterscheibe befindliches Objekt einklemmt und damit einen Abschalt- oder Reversierwert abgibt, eingesetzt werden kann.

Fig. 7 zeigt ein erstes Eingangsmuster des Backpropagation Netzwerks mit drei Schichten, nämlich einer Eingabe- oder Eingangsschicht 61, einer verborgenen Schicht oder „Hidden-Schicht“ 62 und einer Ausgangs- oder Ausgangsschicht 64. Die in der Eingangsschicht 61 und der verborgenen Schicht 62 angeordneten Neuronen 101, 102, 103, 111, 112 sind durch Kanten mit der jeweils darüber liegenden Schicht 62 bzw. 64

verbunden, wobei jede Kante einen an das betreffende Neuron angeschriebenen Gewichtswert symbolisiert.

Die Eingangsschicht 61 ist mit den Eingangswerten Periodendauer, Motorspannung und
5 Adaptionperiode beaufschlagt, die in einen für die Eingangsneuronen 101, 102, 103
passenden Wertebereich gelegt sind. Das mit der Periodendauer beaufschlagte erste
Eingangsneuron 101 weist eine Gewichtung von 0,423, das mit der Motorspannung be-
aufschlagte zweite Eingangsneuron 102 weist eine Gewichtung von 0,524 und das mit
10 der Adaptionperiode beaufschlagte dritte Eingangsneuron 103 weist eine Gewichtung
von 0,279 auf.

Die verborgene Schicht 62 enthält zwei verborgene Neuronen 111, 112, die eingangssei-
tig mit den Ausgängen der Eingangsneuronen 101, 102, 103 verbunden sind. Das erste
verborgene Neuron 111 ist über Verbindungen mit den Verbindungsgewichten $-0,893$, $-$
15 $3,446$ und $3,376$ mit den Ausgängen der Eingangsneuronen 101, 102, 103 verbunden.
Das zweite verborgene Neuron 112 ist über Verbindungen mit den Verbindungsgewich-
ten $3,869$, $3,376$ und $-0,514$ mit den Ausgängen der Eingangsneuronen 101, 102, 103
verbunden.

20 Die Ausgangs- oder Ausgabeschicht 64 wird durch ein Ausgangsneuron 12 dargestellt.
Die Höhe dieses Ausgangswertes entscheidet später über einen für die jeweilige Span-
nung einstellbaren Abschaltwert über das Reversieren oder das Fortsetzen des Fenster-
heberlaufes.

25 Zusätzlich besitzen die Neuronen 111, 112 und 12 der höherliegenden verborgenen
Schicht 62 und der Ausgangsschicht 64 einen Schwellwert oder Biaswert, der den Aus-
gang der Transferfunktionen in den stetigen Bereich verschiebt. Der Biaswert und die
Gewichte sind Konstanten, die in der Anwendung bzw. einem Serieneinsatz nicht mehr
verändert, beziehungsweise nachgelernt werden. Sie werden einmal vor dem Serienein-
30 satz ermittelt und beispielsweise in einem EEPROM abgelegt. Der Algorithmus kann dann,
falls sich Schwachpunkte im Algorithmus aufzeigen, durch eine neue Parametereinstel-
lung, d.h. durch Nachlernen verbessert werden. In der Anwendung jedoch bleiben die
Gewichte bestehen.

35 In der Lernphase werden dem neuronalen Netz Eingangsmuster präsentiert und die da-
zugehörigen definierten Ausgangswerte vorgegeben. Je mehr der vorgegebene Aus-

gangswert von dem vom neuronalen Netz mit den jeweiligen Gewichten und Biaswerten errechneten Ausgangswert abweicht, umso mehr werden die Gewichte und der Biaswert verändert. Dabei werden beispielsweise folgende spezielle Muster ausgewählt:

- 5 - Spannungssprünge bei einem Fensterheberlauf mit ansteigender Periode, einer einbrechenden Spannung und Ermittlung der Adaptionperiode mit einem dazugehörigen Ausgangswert von 0, da das neuronale Netz in diesem Fall keine Kraft erkennen soll,
 - Zangenläufe mit einer Kraftmesszange mit rückgekoppelter Kraft aus der Kraftmess-
10 zange als Ausgangswert für das neuronale Netz mit ansteigender Periodendauer, einbrechender Spannung und Ermittlung der Adaptionperiode
 - Anlernen verschiedener Federraten von beispielsweise 20 N/mm und 2 N/mm usw.
- 15 Mit den in Fig. 8 dargestellten, über den Neuronen 111, 112 und 12 eingetragenen Bias-Werten 2,536 für das erste verborgene Neuron 111 und -0,389 für das zweite verborgene Neuron 112 sowie 0,775 für das Ausgangsneuron 12, den Gewichten, den Transferfunktionen und den Eingangswerten wird der zu dem jeweiligen Eingangsmuster gehörige Ausgangswert ermittelt. Die Ermittlung des Ausgangswertes erfolgt
20 folgendermaßen, wobei in den Fig. 7, 10, 11 und 12 der jeweils berechnete Ausgangswert unterhalb des Ausgangsneurons 12 oder der verborgenen Neuronen 111, 112 angegeben ist:

Zunächst berechnet sich der Ausgang des ersten verborgenen Neurons 111 wie folgt:

25

$$\Sigma = Bias(i) + w_{ij} * Eingang(j)$$

- wobei i das i-te Neuron in der nächst höheren Schicht und w die Gewichtung darstellen und j die Zählvariable für die Eingangsschicht 61 ist. Die Gewichte werden mit den
30 Eingangswerten multipliziert und dann aufsummiert, woraus sich für das erste verborgene Neuron 111 ergibt:

$$\Sigma_{111} = 0,423 \cdot (-0,893) + 0,524 \cdot (-3,446) + 0,279 \cdot 3,376 + 2,536 = 1,294$$

Diese Summe wird dann in die Transferfunktion eingesetzt. Die hier beispielsweise verwendete Transferfunktion ist ein Tangenshyperbolicus. Daraus ergibt sich der Ausgangswert des ersten verborgenen Neurons 111 zu

$$5 \quad \text{Ausgang}_{111} = 0,859$$

Und der Ausgangswert des zweiten verborgenen Neurons 112 zu

$$\sum_{112} = 0,423 \cdot 3,869 + 0,524 \cdot (-0,164) + 0,279 \cdot (-0,514) - 0,389 = 1,018$$

10

$$\text{Ausgang}_{112} = \text{TANH}(1,018) = 0,77$$

und der Ausgangswert des Ausgangsneurons 12 zu

$$15 \quad \sum_{12} = 0,77 \cdot 2,094 + 0,859 \cdot (-2,733) + 0,775 = 0,037$$

$$\text{bzw. Ausgang} = \text{TANH}(0,037) = 0,037$$

20 Beim ersten, in Fig. 7 dargestellten Eingangsmuster liegen die Werte für die Periodendauer bei 0,423 und die Spannung bei 0,524 was einer Spannung von 10V entspricht. Die Adaptionperiode liegt bei einem niedrigerem Wert, nämlich bei 0,279.

Nachfolgend werden 3 weitere, in den Figuren 10, 11 und 12 schematisch dargestellte Eingangsmuster betrachtet.

25

Das in Fig. 9 dargestellte zweite Eingangsmuster unterscheidet sich von dem in Fig. 7 dargestellten ersten Eingangsmuster stark durch die Periodendauer von 1,001 gegenüber 0,423, während die Spannung und die Adaptionperiode mit 0,456 bzw. 0,277 annähernd konstant bleiben. Ebenfalls unverändert bleiben die Verbindungsgewichte, mit denen die verborgenen Neuronen 111, 112 mit den Ausgängen der Eingangsneuronen 101, 102, 103 verbunden sind, sowie die Bias-Werte der verborgenen Neuronen 111, 112 und des Ausgangsneurons 12.

35 Daraus ergeben sich wie vorstehend an Hand der Fig. 7 beschrieben die Ausgangswerte 0,75 für das erste verborgene Neuron 111 und 0,997 für das zweite verborgene Neuron 112 sowie 0,67 für das Ausgangsneuron 12.

Bei dem in Fig. 10 dargestellten dritten Eingangsmuster ist der Spannungswert bei 16V angenommen mit einem Eingangswert von 0,824. Die Periodendauer liegt bei 0,245 und die Adaptionperiode geringfügig modifiziert bei 0,261. Daraus ergibt sich der Ausgangswert des Ausgangsneurons 12, bei dem aus dem Eingangsmuster kein Einklemmen erkannt wird zu 0,241. Dennoch können solche Eingangsmuster von Einklemm-

5 Mustern unterschieden werden, was an Hand der schematischen Darstellung des Backpropagation Netzwerks in Fig. 12 verdeutlicht wird.

- 10 Bei dem Eingangsmuster gemäß Fig. 11 ist die Motorspannung mit dem Wert 0,774 leicht eingebrochen, während die Periodendauer gegenüber dem Vergleichswert von 0,245 auf 0,382 angestiegen ist.

In den Fig. 12a und 12b sind zwei Diagramme dargestellt, die den Lernerfolg des in den Fig. 7 und 9 bzw. 10 und 11 dargestellten neuronalen Netzes bei Spannungswerten von 10 V und 16 V sowie den in den Fig. 7 und 9 bzw. 10 und 11 vorgegebenen Eingangsmustern grafisch darstellen. Die sich aus den Backpropagation Netzwerken gemäß den Fig. 9 und 11 ergebenden Lernvorgaben sind in Form der vorgegebenen Einklemmkraft in jeweils dick ausgezogenen Linien dargestellt, während die sich aus den jeweiligen

15 Eingangsmustern ergebenden Ausgangswerte entsprechend den Backpropagation Netzwerken gemäß den Fig. 7 und 10 durch die dünn ausgezogenen Kurvendarstellungen repräsentiert werden.

Fig. 13 zeigt den Aufbau eines neuronalen Adaptionnetzes 9 zur Ermittlung positionsabhängiger Adaptionswerte bei unterschiedlichen Klemmenspannungen des Antriebsmotors 3 gemäß Fig. 1 und ist als eigenständiges neuronales Netz konzipiert, dessen Ausgangs- oder Ausgabeschicht 94 Spannungsreferenzwerte an die Eingangs- oder Eingabeschicht 61 des neuronalen Netzes gemäß Fig. 2 abgibt. Es hat die Aufgabe, eine für das momentane Antriebsmotorverhalten typische Referenzkurve für eine Referenzspannung zu ermitteln, auch wenn die momentan am Antriebsmotor anliegende Spannung von der Referenzspannung abweicht.

25

30

Ein Eingangsneuron 10 des neuronalen Netzes 6 gemäß Fig. 2 zur Ermittlung eines der Verstell- oder Überschusskraft der Antriebseinrichtung oder eines eingeklemmten oder nicht eingeklemmten Zustandes entsprechenden Ausgangswertes erhält positionsabhängig die vom neuronalen Adaptionnetz 9 gemäß Fig. 13 in der Ausgangs- oder Aus-

35

gabeschicht 94 abgegebenen Adaptionswerte, so dass dieser Eingang des neuronalen Netzes 6 gemäß Fig. 2 als Information für die momentan vorliegende Verschiebekraft, Schwergängigkeit oder Leichtgängigkeit des Antriebssystems dient. Zusätzlich wird diese Information auch für den Einlauf der Fensterscheibe 22 gemäß Fig. 2 in die Fenster-
 5 scheibendichtung verwendet, um das Gesamtsystem unempfindlicher zu machen.

Würde man zur Adaption an den jeweiligen Spannungswert die Gleichung

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

10

anwenden, in der n_1 der Drehzahl bei der Spannung U_1 und n_2 der Drehzahl bei der Spannung U_2 entspricht, so wäre das auf die Referenzspannung interpolierte Ergebnis zu ungenau für ein absolutes System und sehr stark vom Motortyp abhängig. Demgegenüber wird das neuronale Adaptionsnetz auf einen speziellen Antriebsmotor angelernt
 15 und errechnet aus den Perioden und der aktuellen Spannung eine für das Moment festgelegte Referenzperiode bei der Referenzspannung. Diese Referenzperiode ist positionsabhängig und dient dem übergeordneten neuronalen Netz 6 gemäß Fig. 2 als Eingangswert bei der jeweils nächsten Verstellbewegung, d.h. beim nächsten Fensterhub.

20 Während der Fehler bei der direkten Umrechnung über die obenstehende Formel bei 10-15% Bandbreite liegt, tritt bei einer Berechnung über das Adaptionsnetz ein maximaler Fehler von 4%, bei nicht abknickender Kennlinie sogar bei maximal 2% Bandbreite auf. Diese erhöhte Genauigkeit kommt der Genauigkeit bei der Ermittlung der Verstellkraft mittels des neuronalen Netzes 6 gemäß Fig. 2 zugute, denn ein Fehler von 12% Band-
 25 breite ergibt bei einer Federrate im Gesamtsystem von 2 N/mm einen Kraftunterschied von 40N, bei einer Federrate von 10N/mm einen Kraftunterschied von 18N. Daraus resultiert eine Kraftschwankung bei niedrigen Federraten von maximal 7N und bei höheren Federraten 10N/mm eine Kraftschwankung von maximal 3N, wenn ein neuronales Adaption-
 30 netz verwendet wird.

30

Das in Fig. 13 als Beispiel dargestellte neuronale Adaptionsnetz 9 bildet ein eigenständiges neuronales Netz. Es besteht wie das neuronale Netz 6 zur Ermittlung eines der Verstell- oder Überschusskraft der Antriebseinrichtung oder eines eingeklemmten oder nicht eingeklemmten Zustandes entsprechenden Ausgangswertes aus einer Menge von in
 35 Schichten 91, 92, 94 angeordneten Neuronen 30, 31, 32, 33, 34, 35 und gewichteten

Verbindungen 36, 37 und besitzt die Struktur eines gerichteten Graphen, für den die vorstehend im Zusammenhang mit dem neuronalen Netz 6 gemäß Fig. 2 genannten Einschränkungen und Zusätze gelten.

- 5 Das empirisch bis zur Erzielung der besten Lernergebnisse ermittelte neuronale Adaptionsnetz 9 weist in der untersten Schicht bzw. Eingangsschicht 91 zwei Eingangsneuronen 30, 31 auf, die mit unterschiedlichem Gewicht die Eingangssignale Periodendauer und Antriebsmotorspannung bezeichnen. Das der Periodendauer entsprechende Eingang
- 10 gangsneuron 30 kann einen Mittelwert aus wahlweise 4, 8, 12 Perioden darstellen, um beispielsweise die Unsymmetrie des Ringmagneten des Antriebsmotors auszugleichen, während das der Antriebsmotorspannung entsprechende Eingang
- neuron 31 den jeweils aktuell gefilterten Spannungswert repräsentiert.

- Da sowohl die Periodendauer für jede Viertelumdrehung des Antriebsmotors als auch die Spannung immer vorliegt, stehen der mit hoher Taktfrequenz arbeitenden Adaption zu
- 15 jeder Zeit die benötigten Werte zur Verfügung und müssen nicht mit einer Vollumdrehung des Antriebsmotors synchronisiert werden. Der Ausgangswert des neuronalen Adaptionsnetzes 6 wird dann verwendet, wenn die Position des zu verstellenden Bauteils sich um eine Umdrehung des Antriebsmotors geändert hat.

20

- Jedes Eingangsneuron 30, 31 der Eingangsschicht 91 ist über eine Vielzahl von Verbindungen 36, denen unterschiedliche Gewichte zugeordnet sind, mit drei verborgenen Neuronen 32, 33, 34 einer verborgenen Schicht 92 verbunden. Die drei verborgenen Neuronen 32, 33, 34 der verborgenen Schicht 92 weisen unterschiedliche positive und
- 25 negative Gewichte auf und sind über mehrere positiv oder negativ gewichtete Verbindungen mit einem Ausgangsneuron 35 der Ausgangsschicht 94 verbunden, an der eine aus den Eingangswerten ermittelte, auf die Referenzfrequenz normierte Adaptionsperiode ansteht.

- 30 Die Gewichtung der Eingänge und Verbindungen der Neuronen des in Fig. 13 dargestellten mehrstufigen neuronalen Adaptionsnetzes 9 erfolgt nach einer ersten empirischen Vorgabe in einer Lernphase, in der neue Verbindungen entwickelt, existierende Verbindungen gelöscht, die Stärken der Verbindungen durch Veränderung der Gewichte modifiziert, Schwellenwerte und Transferfunktionen modifiziert, neue Neuronen entwickelt und
- 35 bestehende Neuronen gelöscht werden.

Die Gewichte und der Bias stellen die Intelligenz des neuronalen Adaptionnetzes dar und bilden das Verhalten des Antriebsmotors zwischen zwei extremen Spannungen von beispielsweise 9 und 16V nach.

- 5 Um das Verhalten des Antriebsmotors bei allen möglichen Momenten zur Ermittlung der Netzgewichte optimal anzulernen, wird der Antriebsmotor in eine Motorbremse eingespannt, die das Signal für das Moment liefert. Der Antriebsmotor wird mit einer Elektronik betrieben und die Spannung und Periode ausgelesen. Diese Informationen werden synchron zum Moment dokumentiert und das Aufnahmeverfahren bei jeder Spannung von
10 der Leerlaufdrehzahl bis zum Blockieren des Antriebssystems durchgeführt. Zwischen jeder Messung wird eine längere Pause eingelegt, damit sich der Antriebsmotor wieder abkühlt.

- 15 Wird eine erhöhte Genauigkeit bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen benötigt, so wird derselbe Antriebsmotor mit unterschiedlichen Temperaturen betrieben, wobei die Motortemperatur selbst konstant gehalten wird. Sie dient stattdessen als möglicher weiterer Eingang für das neuronale Adaptionnetz. Mittels der Leerlaufdrehzahl und der Spannung kann die Motortemperatur ebenfalls mit einem neuronalen Temperaturnetz ermittelt werden. Die so ermittelte Motortemperatur kann zusätzlich auch für den Temperaturschutz des Antriebsmotors verwendet werden, da sie genauer ist als ein am Fahrzeugäußeren angebrachter Temperatursensor.
20

- In den Fig. 13 und 14 sind zur Demonstration der Genauigkeit des neuronalen Adaptionnetzes 9 zwei Beispiele für die Ermittlung einer Referenzperiode bei Motorspannungen von 9 V bzw. 16 V dargestellt. Bei gleichem Drehmoment wird jeweils der positionsabhängige Adaptionswert des neuronalen Adaptionnetzes wie folgt berechnet:
25

	Eingang 1 = Periode	Eingang 2 = Spannung
30	Fall1: 9V	0.946065
	Fall2: 16V	0.691795
	Bias ₁ (Verb. Neuron 32)	1.17752
	Bias ₁ (Verb. Neuron 33)	-2.35308
	Bias ₁ (Verb. Neuron 34)	-0.09405
35	Bias ₁ (Ausgangsneuron)	-3.15073

Als Transferfunktion wird beispielsweise die Logistic-Funktion gewählt:

$$Ausgang_i = \frac{1}{1 + e^{-(Summe_i + Bias_i)}}$$

5 Die Summe des ersten verborgenen Neurons 32 beträgt

$$\begin{aligned} Summe_1 &= \text{Eingang 1} * \text{Gewicht}_{11} + \text{Eingang 2} * \text{Gewicht}_{12} + \text{Bias}_1 = \\ &0.946065 * -4.766 + 0.379684 * 0.006 + 1.17752 = -3.3291 \end{aligned}$$

10 Der Ausgangswert des ersten verborgenen Neuron 32 beträgt somit

$$Ausgang_i = \frac{1}{1 + e^{-(-3.3291)}} = 0.034586$$

15 Dieses Ergebnis steht gerundet unter dem ersten verborgenen Neuron 32 des in Fig. 13 dargestellten neuronalen Adaptionnetzes.

Nach dieser Vorgehensweise lassen sich die Ausgangswerte des zweiten und dritten verborgenen Neurons 33, 34 sowie des Ausgangsneurons 35 berechnen:

20	Summe ₂	=	-0.3055108
	Ausgang ₂	=	0.42421088
	Summe ₃	=	1.56893044
	Ausgang ₃	=	0.82763108
25	Summe ₄	=	-0.9786242
	Ausgang ₄	=	0.27316486 = Ergebnis bei 9V

30 In gleicher Weise kann die Referenzperiode für eine Motorspannung von 16V mit dem neuronalen Adaptionnetz wie folgt berechnet werden

	Summe ₁	=	-0.7989789
	Ausgang ₁	=	0.31024398
5	Summe ₂	=	0.93062225
	Ausgang ₂	=	0.71720151
	Summe ₃	=	0.81829026
	Ausgang ₃	=	0.69387329
10	Summe ₄	=	-0.9684947
	Ausgang ₄	=	0.27518065 = Ergebnis bei 16V

Die Fehlerrate bei den vorstehend dargestellten extremen Spannungswerten beträgt:

$$15 \quad 1 - \frac{0.27518065}{0.27316486} = 0.73\%$$

Der Fehler, der bei der Annäherung $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2}$ entstehen würde, läge je nach Antriebsmotor im Vergleich dazu zwischen 10 und 15%.

20 Um ein fehlerhaftes Reversieren des Antriebsmotors beispielsweise aufgrund von Änderungen der Verstellkraft des Fensterhebersystems oder Veränderungen des Antriebsmotors zu vermeiden, wird als zusätzliches Kriterium zum Erkennen eines Einklemmvorganges die Federrate eines eingeklemmten Gegenstandes berücksichtigt.

25 Weist der Antriebsmotor beispielsweise einen vierpoligen Ringmagneten auf, so wird die Drehzahldifferenz zwischen der nullten und der vierten Periode des Antriebsmotors ermittelt und dieser Wert mit dem der Verstellkraft der Antriebseinrichtung entsprechenden Ausgangswert des neuronalen Netzes 6 gemäß Fig. 2 verknüpft. Die Funktionsweise dieser Verknüpfung soll anhand der Fig. 15 bis 17 näher erläutert werden.

30

Fig. 15 zeigt den Verlauf des Drehmomentes M über den Verstellweg s bei vier verschiedenen Schließvorgängen a bis d und Fig. 16 den Verlauf der Federrate Fr bzw. der

Drehzahldifferenz von zwei Vergleichsperioden über den Verstellweg s bei den in Fig. 15 dargestellten Schließbewegungen einer Fensterscheibe 22 gemäß Fig. 1. Der Drehzahldifferenz-Schwellwert SF definiert dabei die Grenze, ab der niedrige Federraten beginnen und beträgt beispielsweise 20 N/mm.

5

Durch die Vorgabe von zwei Abschaltwert-Schwellwerten ASW_1 und ASW_2 des Ausgangswertes des neuronalen Netzes und eines Drehzahldifferenz-Schwellwertes SF können die nachfolgend beschriebenen Reversierfälle unterschieden werden.

- 10 Überschreitet entsprechend der Kurve a der Ausgangswert M des neuronalen Netzes nach dem Verstellweg s_1 den ersten Abschalt-Schwellwert ASW_1 und ist an dieser Stelle die Drehzahldifferenz kleiner als der vorgegebene Drehzahldifferenz-Schwellwert SF, so wird der Antriebsmotor auch dann nicht reversiert, wenn im weiteren Verlauf der Drehzahldifferenz-Schwellwert SF beispielsweise nach dem Verstellweg s_7 überschritten wird.

15

In diesem Falle wird ein Reversieren des Antriebsmotors verriegelt bzw. gesperrt, so dass bei einem Überschreiten des Drehzahldifferenz-Schwellwertes SF im weiteren Verlauf des Verstellweges kein Reversieren des Antriebsmotors möglich ist. Nur wenn beim weiteren Verstellen der zweite Abschalt-Schwellwert S_2 überschritten wird, erfolgt ein sofortiges Reversieren des Antriebsmotors.

20

Nur wenn während dieses Laufs der zweite Abschalt-Schwellwert ASW_2 , der größer ist als der erste Abschalt-Schwellwert ASW_1 , überschritten wird, wird der Antriebsmotor reversiert.

25

Dasselbe Kriterium trifft auf die Kurve b zu, die nach dem Verstellweg s_2 kurzzeitig den ersten Abschalt-Schwellwert ASW_1 überschreitet und dann wieder unter den ersten Abschalt-Schwellwert ASW_1 fällt.

- 30 Überschreitet der Ausgangswert M des neuronalen Netzes entsprechend der Kurve c den ersten Abschalt-Schwellwert ASW_1 beim Verstellweg s_3 , bei dem die Drehzahldifferenz ebenfalls kleiner ist als der Drehzahldifferenz-Schwellwert SF, so erfolgt ein sofortiges Reversieren des Antriebsmotors erst dann, wenn der zweite Abschalt-Schwellwert ASW_2 an der Stelle s_5 überschritten wird.

Überschreitet entsprechend der Kurve d der Ausgangswert M des neuronalen Netzes den ersten Abschalt-Schwellwert ASW_1 nach dem Verstellweg s_4 und ist an dieser Stelle die Drehzahldifferenz größer als der Drehzahldifferenz-Schwellwert SF, so erfolgt ein
5 sofortiges Reversieren des Antriebsmotors.

In Fig. 17 sind die vorstehenden Abschaltkriterien als Flussdiagramm dargestellt, das nach dem Start des Programms in einem ersten Entscheidungsblock 41 den Ausgangswert A_N des neuronalen Netzes mit dem ersten Abschalt-Schwellwert ASW_1 und die Federrate bzw. Drehzahldifferenz mit dem Drehzahldifferenz-Schwellwert SF vergleicht. Ist
10 der Ausgangswert A_N größer als der erste Abschalt-Schwellwert ASW_1 und die Drehzahldifferenz kleiner als der Drehzahldifferenz-Schwellwert SF, so wird ein Flag 44 gesetzt und einem zweiten Entscheidungsblock 42 zugeführt, während das Programm bei Nichterfüllen der vorstehenden Bedingung direkt zum zweiten Entscheidungsblock 42
15 übergeht.

In diesem zweiten Entscheidungsblock 42 wird die Bedingung geprüft, ob das Flag 42 gesetzt ist und der Ausgangswert A_N des neuronalen Netzes größer als der zweite Abschalt-Schwellwert ASW_2 ist. Trifft diese UND-Verknüpfung zu, so erfolgt ein sofortiges
20 Reversieren des Antriebsmotors. Trifft diese Bedingung dagegen nicht zu, so wird in einem dritten Entscheidungsblock 43 geprüft, ob der Ausgangswert A_N des neuronalen Netzes größer ist als der erste Abschalt-Schwellwert ASW_1 und die Drehzahldifferenz größer als der Drehzahldifferenz-Schwellwert SF. Trifft dies zu, so wird der Antriebsmotor ebenfalls sofort reversiert. Trifft dies nicht zu, so wird erneut zum ersten Entscheidungsblock 41 zurückgesprungen.
25

Die Verknüpfung der ermittelten Federrate mit dem Ausgangswert des neuronalen Netzes kann entweder mittels eines Fuzzy-Systems oder mittels eines mathematischen Modells mit einem entsprechenden Algorithmus oder ebenfalls mittels eines neuronalen
30 Netzes erfolgen, dem in der Eingangsschicht der der Verstellkraft bzw. dem Verstellmoment entsprechende Ausgangswert des neuronalen Netzes gemäß Fig. 2 und die ermittelte Drehzahldifferenz zugeführt wird und das an seiner Ausgangsschicht einen Wert abgibt, der einem eingeklemmten oder nicht eingeklemmten Zustand entspricht.

Figur 18a zeigt das schematische Blockschaltbild einer ersten Ausführungsform einer Steuerungsvorrichtung mit einem neuronalen Netz für eine Verstelleinrichtung eines Kraftfahrzeugteiles.

- 5 Zunächst wird der Aufbau der gezeigten Steuerungsvorrichtung beschrieben. Die Steuerungsvorrichtung umfasst eine Elektronikeinrichtung 1000. Diese weist einen Mikrocontroller 1100, ein Bauelement mit einem neuronalen Netz 1200 und ein Speicherelement 1300 auf. Der Mikrocontroller 1100 ist sowohl mit dem neuronalen Netz 1200 als auch mit dem Speicherelement 1300 verbunden. Das Speicherelement 1300 wirkt mit dem neuronalen Netz 1200 über eine Leitungsverbindung zusammen.

- Sowohl der Mikrocontroller 1100 als auch das neuronale Netz 1200 weisen eine Mehrzahl von Schnittstellen 1400, 1500 auf. Die Schnittstellen 1400 des neuronalen Netzes 1200 dienen als Eingänge für die auszuwertenden Messgrößen S'. Diese Schnittstellen 1400 führen die Messgrößen S der Eingangsschicht des neuronalen Netzes 1200 zu. Eine oder mehrere dieser Schnittstellen 1300 können als Anschlüsse an einen CAN- oder LIN-Bussystem des Kraftfahrzeuges ausgebildet sein.

- Als Messgrößen S' eignen sich insbesondere die Signale eines Beschleunigungssensors, der die Bewegung des Kraftfahrzeuges oder eines Kraftfahrzeugteiles wie beispielsweise der Tür- oder der Heckklappe charakterisiert. Ausgehend von diesen Beschleunigungssignalen lässt sich beispielsweise das Befahren einer Schlechtwegstrecke oder die Zuschlagbewegung einer Tür bzw. einer Heckklappe eindeutig als Zustand identifizieren. Ebenso ist es vorgesehen, Messgrößen eines der Verstelleinrichtung zugeordneten Motors M' auszuwerten. Die Bewegungscharakteristik von Elektromotoren lässt sich beispielsweise durch Hallsensoren überwachen. Die Auswertung dieser Signale erlaubt Rückschlüsse auf Schwergängigkeiten und Einklemmfälle.

- Die Schnittstellen 1500 des Mikrocontrollers 1100 dienen als Eingänge für Signale, aus denen sich die unterschiedlichen Zustände des Kraftfahrzeuges und seiner Bauelemente herauslesen lassen. Dabei kann es sich um die gleichen Messgrößen S oder um eine Teilmenge dieser Messgrößen S' handeln, die über die Schnittstellen 1400 an das neuronale Netz 1200 gelangen.

Über eine Leitungsverbindung steuert der Mikrocontroller 1100 mit Hilfe eines Leistungstreibers H' einen Motor M'. Dieser Motor M' bewegt das der Verstelleinrichtung zugeordnete Kraftfahrzeugteil.

- 5 Es ist selbstverständlich, dass der Mikrocontroller 1100, das neuronale Netz 1200 und/oder das Speicherelement 1300 als dargestellte Elemente der Elektronikeinrichtung 1000 auch als bauliche Einheit in Form eines integrierten Schaltkreises ausgebildet sein können. Die Variante der Integration von neuronalem Netz 1200 und Speicherelement 1300 ist als schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform der Steuerungsvorrichtung in Figur 18b gezeigt. Die übrigen Bauelemente dieser Darstellung entsprechen denen aus Figur 18a, so dass auf die vorangehenden Ausführungen verwiesen wird.

- 15 Die technische Umsetzung der Integration eines neuronalen Netzes in einen Mikrocontroller kann zum einen darin bestehen, dass das neuronale Netz im Mikrocontroller als Software realisiert ist. Zum anderen ist ebenso denkbar, dass der Mikrocontroller in Form eines ASIC-Aufbaus (Applied-Specific-Integrated-Circuit) realisiert ist. Selbstverständlich lässt sich das Speicherelement 1300, wie in Figur 18b gezeigt, ebenfalls im Mikrocontroller integrieren. Eine denkbare – nicht dargestellte – Variante besteht darin, dass nur das neuronale Netz 1200 im Mikrocontroller integriert ist, nicht jedoch das Speicherelement, das dann als separates Bauteil der Elektronikeinrichtung realisiert wäre.

- Im Folgenden geht es um die Funktionsweise der in den Figuren 18a und 18b dargestellten Steuerungsvorrichtungen. Der Mikrocontroller 1100 erhält über die Schnittstellen 1400, 1500 die Signale des Kraftfahrzeuges und seiner Bauelemente, die ihn über deren jeweiligen Zustand informieren. Im Mikrocontroller 1100 ist die Information abgelegt, bei welchen der ermittelten Zustände das neuronale Netz 1200 mit welchen Sätzen an Gewichten arbeiten sollte. Falls sich also der ermittelte Zustand des Fahrzeugs und seiner Bauelemente so ändert, dass ein anderer Gewichtssatz für das neuronale Netz 1200 erforderlich ist, so initiiert der Mikrocontroller, dass der entsprechende Satz an Gewichten aus dem Speicherelement 1300 für das neuronale Netz 1200 bereitgestellt wird. Das neuronale Netz 1200 arbeitet dann so lange mit dem neuen Satz an Gewichten, bis der Mikrocontroller 1100 wieder eine solche Änderung des Zustands von Kraftfahrzeug und/oder dessen Bauelementen registriert, die einen erneuten Wechsel des Gewichtssatzes für das neuronale Netz erforderlich machen.

Die vorangehend beschriebene Funktionsweise ist unabhängig davon, ob das neuronale Netz 1200 als Software oder als integriertes Hardware-Element in ASIC-Bauweise im Mikrocontroller 1100 integriert ist oder als separates elektronisches Bauelement vorgesehen ist.

5

Das neuronale Netz 1200 realisiert unabhängig von dem gerade aktiven Gewichtssatz einen Einklemmschutz im Hinblick auf Hindernisse, die im Verstellweg des Kraftfahrzeugteiles einklemmen.

- 10 Auf diese Weise lässt sich das Steuerungssystem bevorzugt derart ausbilden, dass für bestimmte Zustände, wie z.B. das Befahren einer Schlechtwegstrecke oder das Zuschlagen einer Kraftfahrzeugtür mittels des neuronalen Netzes 1200 der Verstelleinrichtung hauptsächlich ein eingeschränkter Bereich an Federraten des verstellbaren Kraftfahrzeugteiles detektiert wird. Dies lässt sich dadurch erreichen, dass für die übrigen Feder-
- 15 raten eine deutlich erhöhte Ansprechschwelle des durch das neuronale Netz 1200 realisierten Einklemmschutzsystems eingesetzt wird.

Dies ist schematisch in Figur 19 dargestellt. Hier ist die Ansprechschwelle A' des Einklemmschutzsystems der Verstelleinrichtung über der Federrate F' aufgetragen.

20

Ein erster Satz an Gewichten G1' für das neuronale Netz 1200 weist für sämtliche Federraten F' die gleiche Ansprechschwelle auf. Dies soll durch die durchgezogene und anschließend gestrichelt gezeichnete Linie verdeutlicht werden.

- 25 Ein zweiter Satz an Gewichten G2' hat ab einer Federrate von in etwa 20 N/mm eine deutlich erhöhte Ansprechschwelle. Dieser Satz G2' würde beispielsweise beim Zustand des Befahrens einer Schlechtwegstrecke oder beim Zuschlagen einer Kraftfahrzeugtür zum Einsatz kommen. Es ist klar, dass der Betrag der Erhöhung der Ansprechschwelle und der Federraten-Schwellwert frei einstellbar sind, was durch die eingezeichneten Pfei-
- 30 le verdeutlicht werden soll.

Weiterhin wird ein Verfahren zur Steuerung einer Verstelleinrichtung eines Kraftfahrzeugteiles mit einer ein neuronales Netz aufweisenden Elektronikeinrichtung beschrieben.

Dieses Verfahren umfasst die folgenden Schritte:

- 5 - Auswerten von Messgrößen des Kraftfahrzeuges und/oder der Verstelleinrichtung mittels der Elektronikeinrichtung zur Ermittlung eines Zustands des Kraftfahrzeuges und/oder eines Zustands der Verstelleinrichtung;
- abhängig von der Auswertung der Messgrößen und des ermittelten Zustands Auswählen eines Satzes von Gewichten für das neuronale Netz aus einer
- 10 Mehrzahl von Gewichtssätzen und
- Verwenden des ausgewählten Gewichtssatzes zum Betreiben des neuronalen Netzes während des Steuerns der Verstelleinrichtung des Kraftfahrzeugteils.

15 Dabei wird das neuronale Netz bevorzugt derart betrieben, dass es einen Einklemmschutzsystem für Hindernisse bereitstellt, die im Verstellweg des Kraftfahrzeugteiles eingeklemmt werden.

20 Bevorzugt wird ein Mikrocontroller der Elektronikeinrichtung Messgrößen des Kraftfahrzeuges auswerten, um Zustände des Kraftfahrzeuges und/oder von Kraftfahrzeugbauelementen zu ermitteln. Abhängig vom ermittelten Zustand wird der Mikrocontroller den diesem Zustand zugeordneten Satz an Gewichten für das neuronale Netz aktivieren.

Bezugszeichenliste

1	Kraftfahrzeugtür
2	Fensterheber
3	Antriebsmotor
4	Schalteinrichtung
5	Spannungsquelle
6	Neuronales Netz (Backpropagation-Netzwerk)
7	Bedienungseinheit
8	Mikrocomputer
9	neuronales Adaptionsnetz
10	Eingangsneuronen
11	verborgene Neuronen
12	Ausgangsneuron
14, 15, 16	gewichtete Verbindungen
21	Hebeschiene
22	Fensterscheibe
23	Hebevorrichtung
30, 31	Eingangsneuronen des neuronalen Adaptionsnetzes
32, 33, 34	verborgene Neuronen des neuronalen Adaptionsnetzes
35	Ausgangsneuron des neuronalen Adaptionsnetzes
36, 37	gewichtete Verbindungen des neuronalen Adaptionsnetzes
60	Mikroprozessor
61	Eingangs- oder Eingabeschicht
62, 63	verborgene Schichten
64	Ausgangs- oder Ausgabeschicht
91	Eingangs- oder Eingabeschicht des neuronalen Adaptionsnetzes
92, 93	verborgene Schichten des neuronalen Adaptionsnetzes
94	Ausgangs- oder Ausgabeschicht des neuronalen Adaptionsnetzes
101 - 103	Eingangsneuronen
111, 112	verborgene Neuronen
1000	Elektronikeinrichtung
1100	Mikrocontroller
1200	Neuronales Netz
1300	Speichereinheit

1400, 1500	Schnittstellen
A'	Ansprechschwelle des Einklemmschutzes
F'	Federrate
G1'	Erster Gewichtssatz für das neuronale Netz
G2'	Zweiter Gewichtssatz für das neuronale Netz
H'	Leistungstreiber
M'	Motoreinrichtung
S'	Messgrößen
ASW ₁ , ASW ₂	Abschalt-Schwellwerte
SF	Drehzahldifferenz-Schwellwert

Patentansprüche

- 5 1. Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere einer Fensterscheibe oder eines Schiebedaches in Kraftfahrzeugen,

dadurch gekennzeichnet,

10

15

dass mehrere aus der Antriebseinrichtung (2, 3) ableitbare Eingangssignale, die eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung (2, 3) repräsentieren, an Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) einer Eingangsschicht (61) eines neuronalen Netzes (6) mit mindestens einer verborgene Neuronen (11; 111, 112) aufweisenden verborgenen Schicht (62, 63) eingegeben werden, das an mindestens einem Ausgangsneuron (12) einer Ausgangsschicht (64) einen der Verstellkraft oder einen eingeklemmten oder nicht eingeklemmten Zustand entsprechenden Ausgangswert abgibt.

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die aus der Antriebseinrichtung (2, 3) ableitbaren Eingangssignale indirekt eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung (2, 3) repräsentieren.

25

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung (2, 3) durch eine Veränderung der Periodendauer und/oder des Motorstroms und/oder der Motorspannung eines Antriebsmotors (3) der Antriebseinrichtung (2, 3) ermittelt wird.

30

4. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die aus der Antriebseinrichtung (2, 3) ableitbaren Eingangssignale parallel oder seriell an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) der Eingangsschicht (61) des neuronalen Netzes (6) abgegeben werden.

35

5. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eingänge der Eingangsschicht (61), der verborgenen Schicht (62, 63) und der Ausgangsschicht (64) sowie die Verbindungen (14) der Eingangsschicht (91) mit der mindestens einen verborgenen Schicht (62), die Verbindungen (15) der mehreren verborgenen Schichten (62, 63) untereinander und die Verbindungen (16) einer verborgenen Schicht (63) mit der Ausgangsschicht (64) unterschiedlich stark gewichtet werden.

6. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die verborgenen Neuronen (11; 111, 112) der mindestens einen verborgenen Schicht (62, 63) und das mindestens eine Ausgangsneuron (12) der Ausgangsschicht (64) einen konstanten Schwellwert oder Bias besitzt, der den Ausgang der Transferfunktionen der Neuronen (10, 11, 12; 101, 102, 103; 111, 112) in einen stetigen Bereich verschiebt.

7. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103), verborgenen Neuronen (11; 111, 112) und/oder Ausgangsneuronen (12) des neuronalen Netzes (6) in einer Lernphase

- zufällige Gewichte vergeben werden,
- verschiedene an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) angelegte Eingangsmuster vorgegeben und der dazugehörige mindestens eine Ausgangswert berechnet wird und
- in Abhängigkeit vom Unterschied zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und mindestens einem Soll-Ausgangswert die Gewichte und/oder der Schwellwert verändert werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Maß der Änderung der Gewichte von der Größe des Unterschieds zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und dem mindestens einen Soll-Ausgangswert abhängt.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Ausgangswert mit einer Kraftmesszange bei unterschiedlichen Federraten, insbesondere bei 2 N/mm und 20 N/mm, gemessen wird, und dass die Kraftmesszange analog zu den Eingangswerten den gemessenen Ausgangswert ausgibt.

5

10. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass den Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) als Eingangssignale die Motorperiode, der Motorstrom und/oder die Motorspannung des Antriebsmotors (3) eingegeben werden.

10

11. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass den Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) als zusätzliches Eingangssignal eine Adaptionperiode eingegeben wird, die die bei einer vorgegebenen Referenzspannung berechnete Periode angibt, die zur Position einer in der Lernphase abgelegten Referenzwegstrecke gehört.

15

12. Verfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Adaptionperiode gemittelt wird, indem bei jeder vollen Umdrehung oder in vier Viertelperioden des Antriebsmotors das neuronale Netz eine neue Adaptionperiode errechnet, die bei der nächsten Verstellbewegung als Adaptionperiode zur Verfügung gestellt wird.

20

25

13. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eingangswerte der Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) aus

30

- den Werten eines Adaptionanlaufs des translatorisch verstellbaren Bauteils,
- den Werten einer Adaptionperiode beim Verstellen des translatorisch verstellbaren Bauteils
- einem Anlaufflag,
- den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Klemmenspannungen des Antriebsmotors,
- den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Periodenwerte,

35

- der Temperatur des Antriebsmotors,
- der Umgebungstemperatur
- einem Geschwindigkeitssignal,
- einem Schwingflag und
- 5 - einem vorangegangenen Ausgangswert

bestehen und als Ausgangswert eines Ausgangsneurons die neuronal ermittelte Kraft abgegeben wird.

10 14. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Lernphase des neuronalen Netzes (6) an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) angelegte Eingangsmuster und die von dem mindestens einen Ausgangsneuron (12) abgegebenen Kraftwerte in Abhängigkeit von der gewünschten Empfindlichkeit des Systems bei niedrigen Federraten ausgewählt
15 bzw. vorgegeben werden.

15 15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Lernanteil in der Lernphase des neuronalen Netzes (6) aus der Adaptionperiode besteht, die nach jedem Lauf neu in der Anwendung ermittelt wird.

o

25 16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Lernphase vor der betriebsgemäßen Anwendung in einem Fahrzeug erfolgt.

30 17. Verfahren nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der betriebsgemäßen Anwendung die in der Lernphase ermittelten Gewichte des neuronalen Netzes (6) festgelegt werden.

35 18. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Adaptionseinrichtung (9) zur Ermittlung von auf einen Referenzwert normierten Signalen der Antriebseinrichtung (2, 3) und Abgabe von Adaptionswerten an die Eingangsschicht (61) des neuronalen Netzes (6).

19. Verfahren nach Anspruch 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Adaptionseinrichtung (9) die Adaptionswerte positionsabhängig an die Eingangsneuronen (10) des neuronalen Netzes (6) als zusätzliches Eingangssignal abgibt.

5

20. Verfahren nach Anspruch 18 oder 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Adaptionseinrichtung aus einem neuronalen Adaptionsnetz (9) besteht, dessen Eingangsneuronen (30, 31) mit mindestens einem Signal der Antriebseinrichtung (2, 3) beaufschlagt sind und dessen mindestens ein Ausgangsneuron (35) die positionsabhängigen Adaptionswerte an das neuronale Netz (6) abgibt.

10

21. Verfahren nach Anspruch 20, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eingangsneuronen (30, 31) des neuronalen Adaptionsnetzes (9) mit Zusatzparametern wie der Umgebungstemperatur, Klimadaten oder der Temperatur und des Abkühlverhaltens des Antriebsmotors (3) der Antriebseinrichtung (2, 3) beaufschlagt sind.

15

22. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Adaptionseinrichtung ein Modell der Antriebseinrichtung, ein Fuzzy-System oder ein mathematisches Modell mit einem genetisch generierten Algorithmus aufweist.

20

23. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Antriebsmotor (3) in Abhängigkeit vom Ausgangswert des neuronalen Netzes (6) und der Federrate angehalten oder reversiert wird.

25

24. Verfahren nach Anspruch 23, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Verknüpfung der Federrate der Antriebseinrichtung (2, 3) mit dem Ausgangswert des neuronalen Netzes (6) mittels einer Logikschaltung, eines mathematischen Modells mit einem Algorithmus oder eines neuronalen Verknüpfungsnetzes erfolgt.

30

35

25. Verfahren nach Anspruch 23 oder 24, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Drehzahl des Antriebsmotors (3) erfasst, die Drehzahldifferenz zwischen zwei Perioden gebildet und mit dem Ausgangswert des neuronalen Netzes (6) derart verknüpft wird, dass
- 5 - beim Überschreiten eines ersten Abschalt-Schwellwertes (ASW_1) des Ausgangswertes des neuronalen Netzes (6) und einer Drehzahldifferenz, die kleiner ist als ein vorgegebener Drehzahldifferenz-Schwellwert (SF), der Antriebsmotor (3) bis zum Ende der Verstellbewegung nur dann angehalten oder reversiert wird, wenn der Ausgangswert des neuronalen Netzes (6) einen zweiten
 - 10 Abschalt-Schwellwert (ASW_2) überschreitet, der größer ist als der erste Abschalt-Schwellwert (ASW_1),
 - beim Überschreiten eines ersten Abschalt-Schwellwertes (ASW_1) des Ausgangswertes des neuronalen Netzes und einer Drehzahldifferenz, die größer ist als ein vorgegebener Drehzahldifferenz-Schwellwert (SF) der Antriebsmotor
 - 15 (3) angehalten oder reversiert wird,
 - beim Überschreiten des zweiten Abschalt-Schwellwertes (ASW_2) unabhängig von der Drehzahldifferenz der Antriebsmotor (3) angehalten oder reversiert wird.
- 20
26. Verfahren nach Anspruch 25, **dadurch gekennzeichnet**, dass beim Überschreiten des ersten Abschalt-Schwellwertes (ASW_1) des Ausgangswertes des neuronalen Netzes (6) und einer Drehzahldifferenz, die kleiner ist als der vorgegebene Drehzahldifferenz-Schwellwert (SF), ein Anhalten oder Reversieren des Antriebsmotors
- 25 (3) auch dann blockiert wird, wenn die Drehzahldifferenz bei der weiteren Verstellbewegung der Antriebseinrichtung (2, 3) größer ist als der vorgegebene Drehzahldifferenz-Schwellwert (SF).
- 30
27. Verfahren nach mindestens einem der vorangehenden Merkmale mit den folgenden Schritten:
- Auswerten der Eingangssignale mittels des neuronalen Netzes zur Ermittlung eines Zustands des Kraftfahrzeuges und/oder eines Zustands der Verstelleinrichtung;

5

- abhängig von der Auswertung der Eingangssignale und des ermittelten Zustands Auswählen eines Satzes von Gewichten für das neuronale Netz aus einer Mehrzahl von Gewichtssätzen und
- Verwenden des ausgewählten Gewichtssatzes zum Betreiben des neuronalen Netzes während des Steuerns der Antriebseinrichtung des verstellbaren Bauteils.

1/17

FIG 1

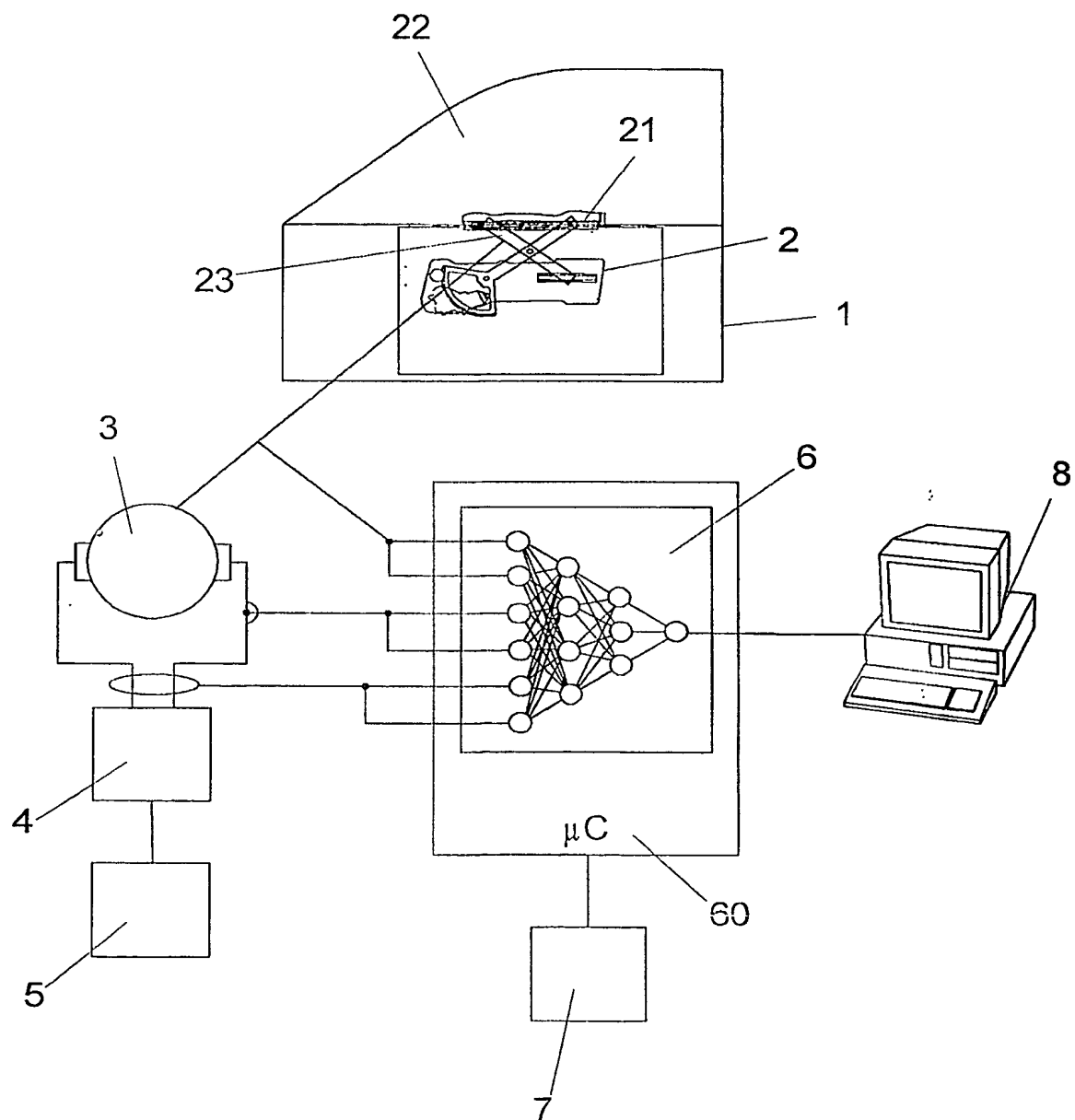
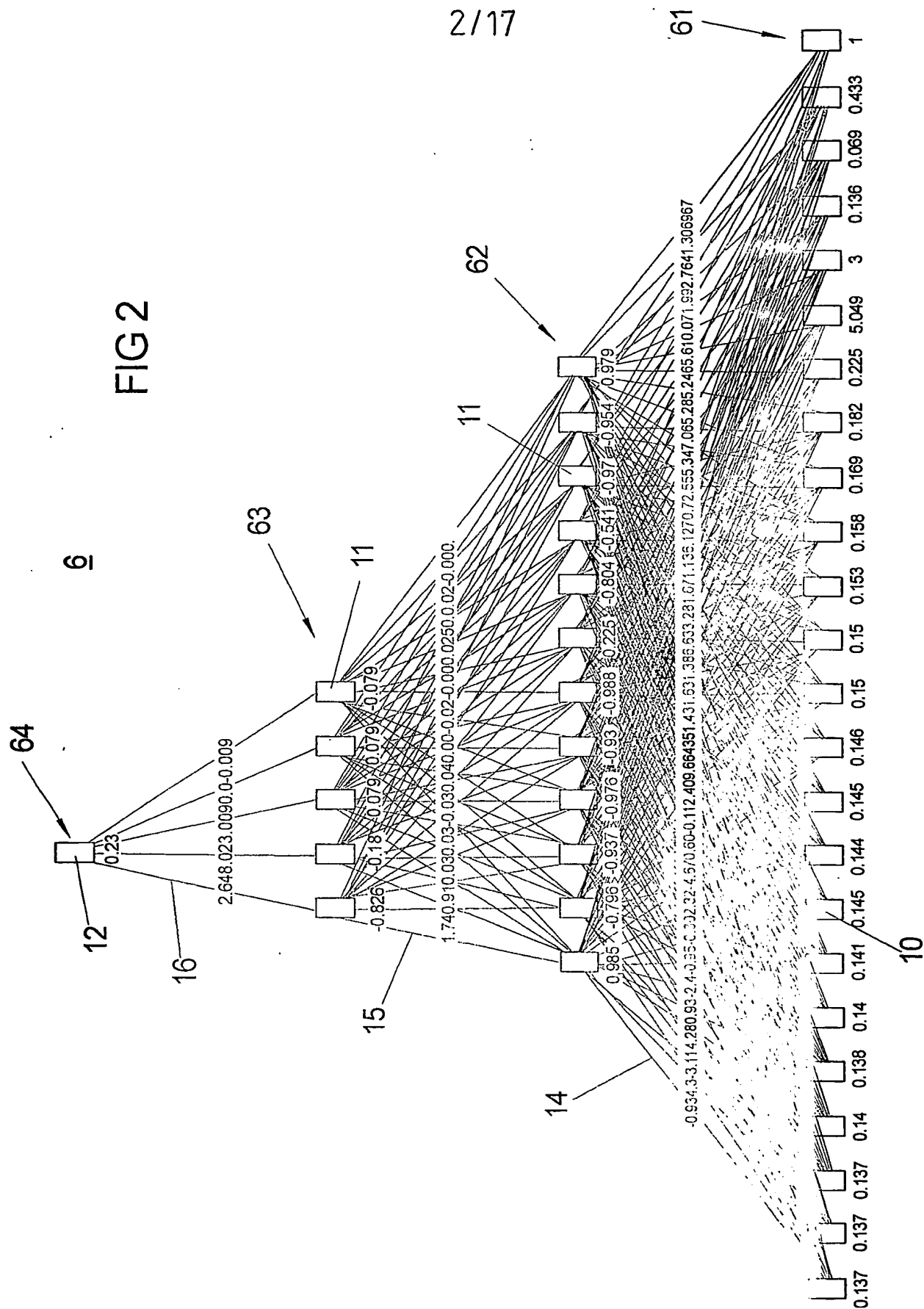
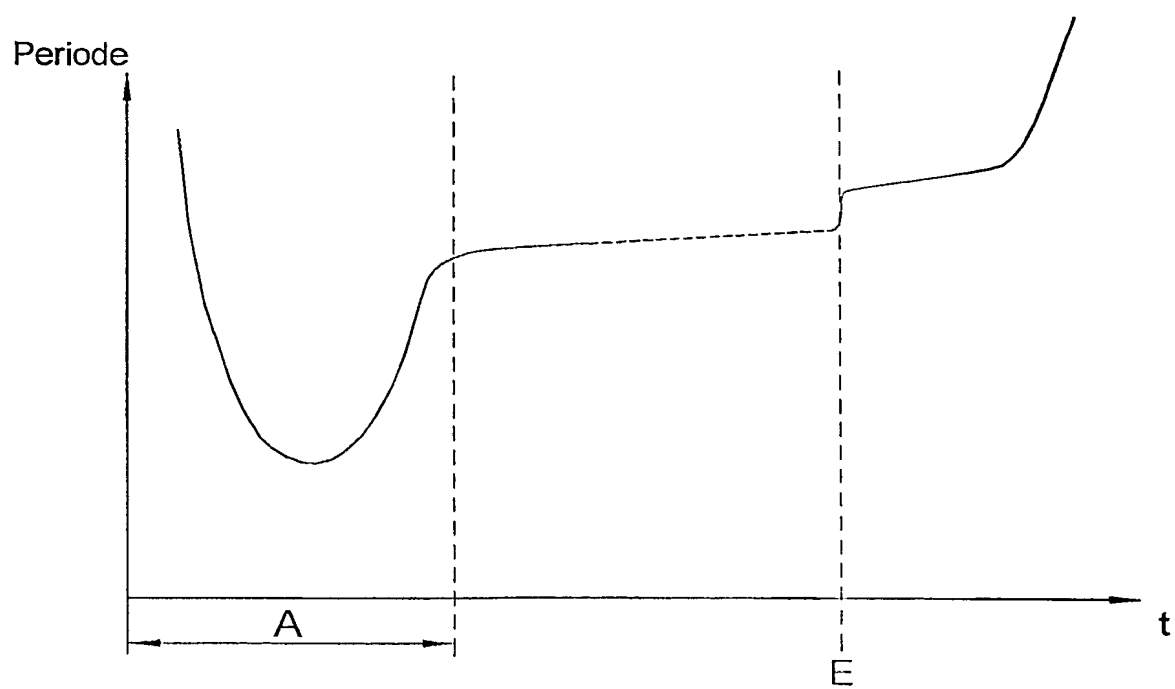


FIG 2



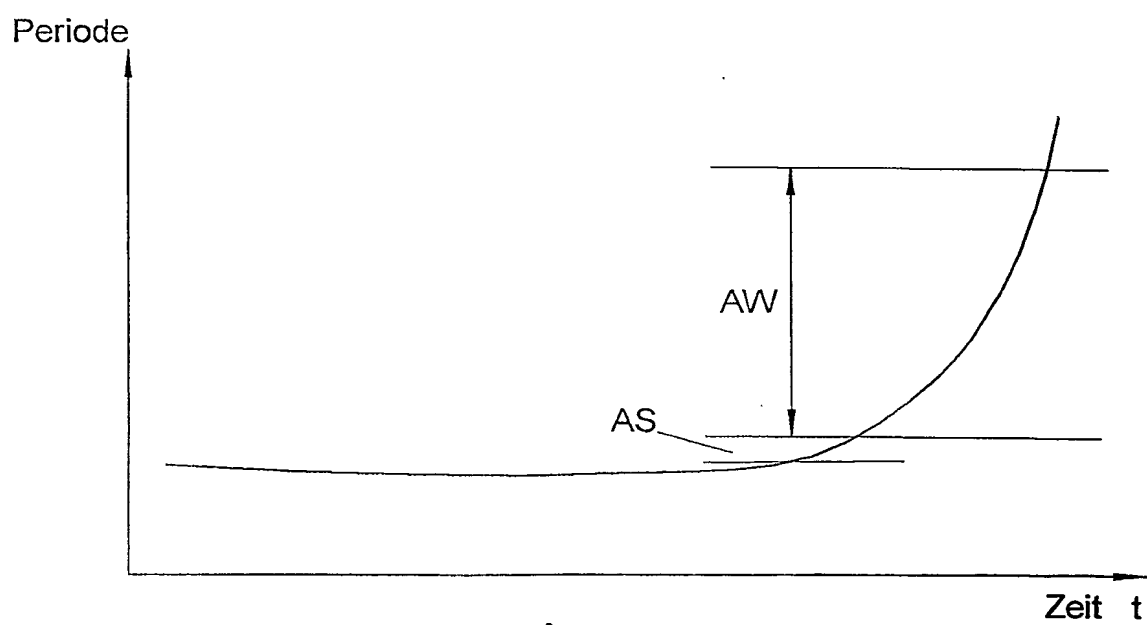
3/17

FIG 3



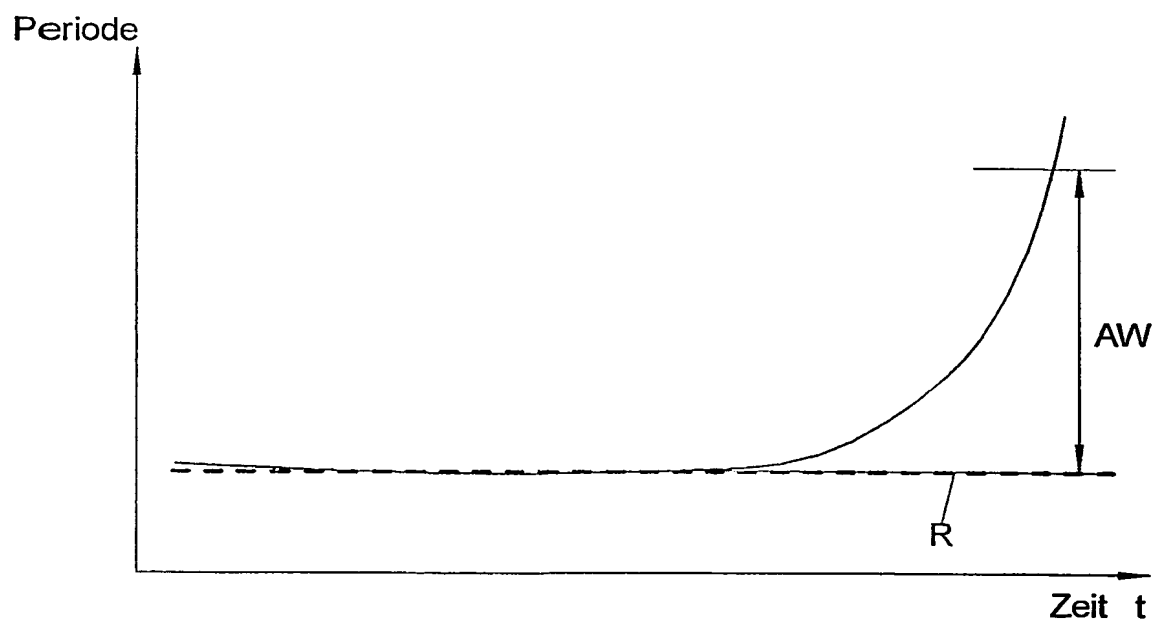
4/17

FIG 4A



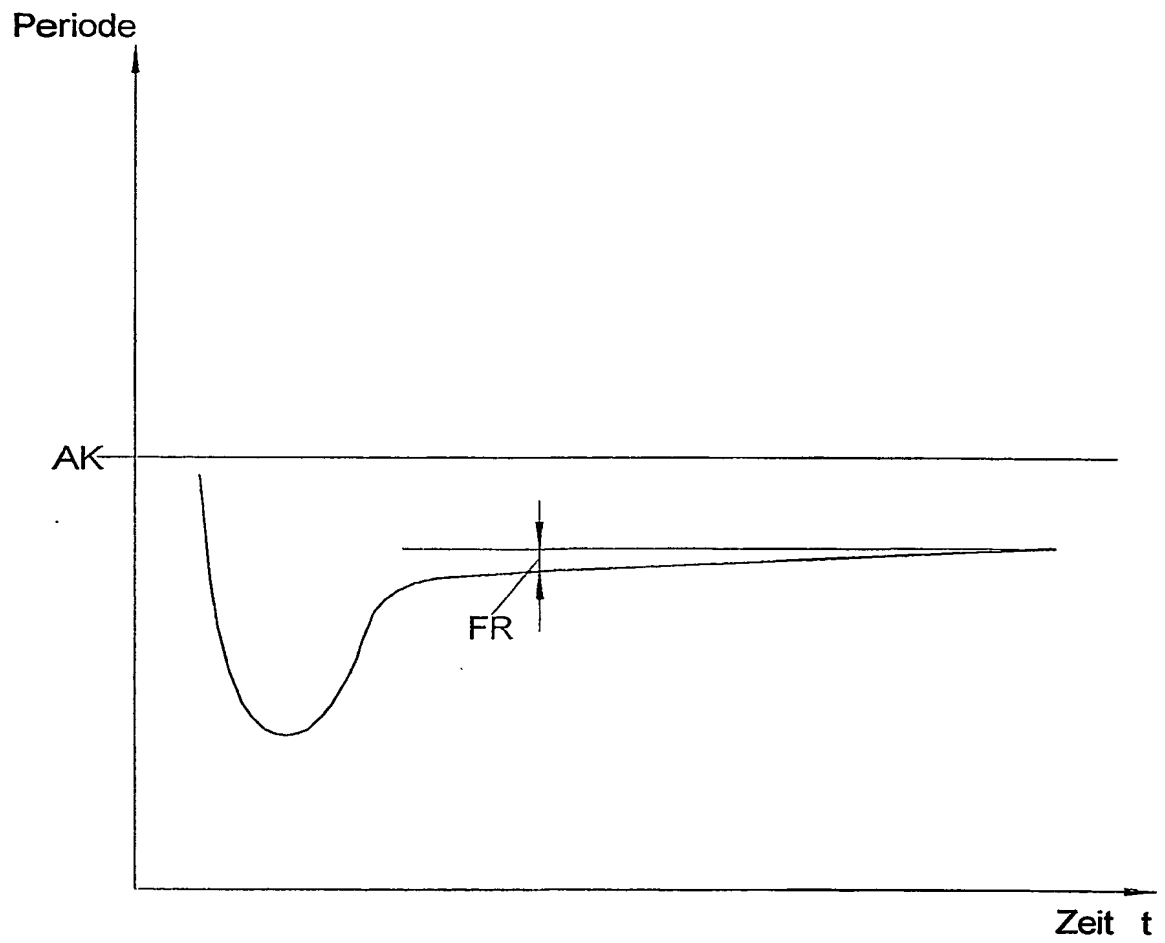
5/17

FIG 4B



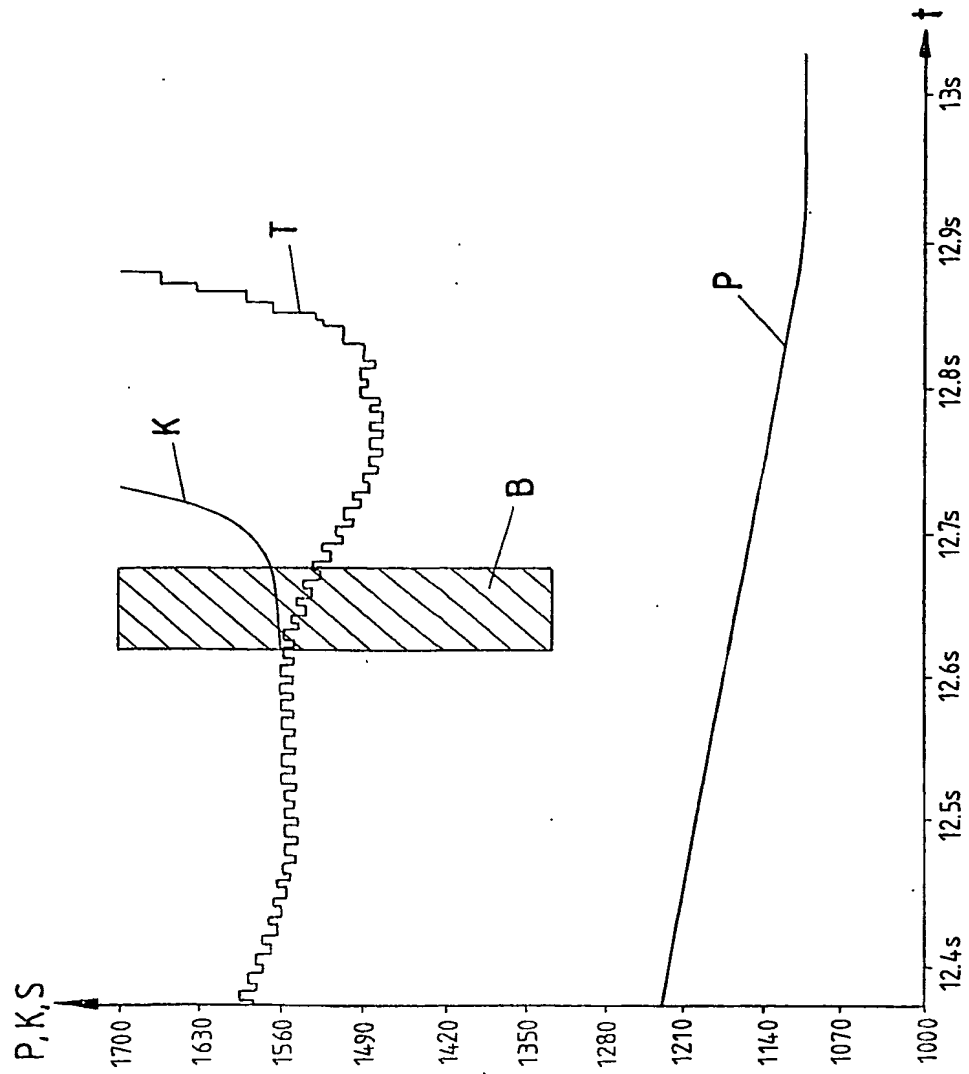
6/17

FIG 5



7/17

FIG 6



8/17

FIG 7

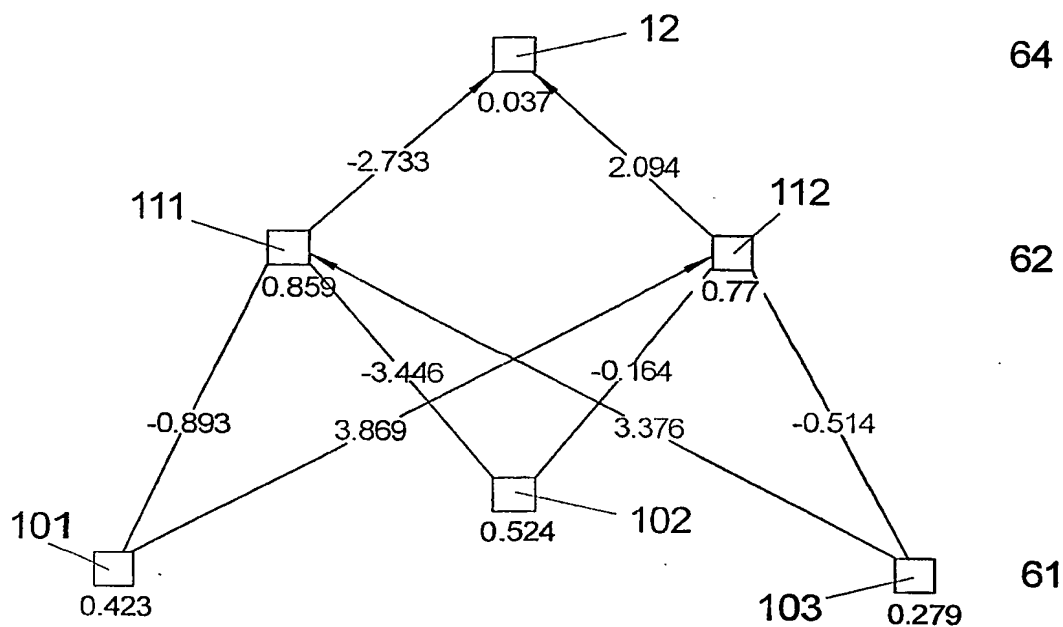
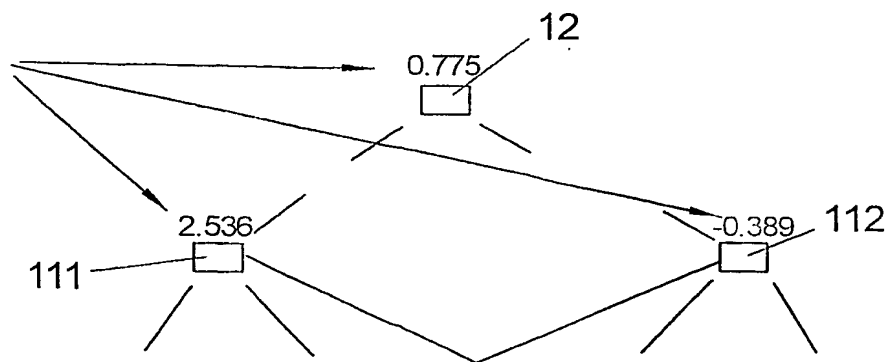


FIG 8



9/17

FIG 9

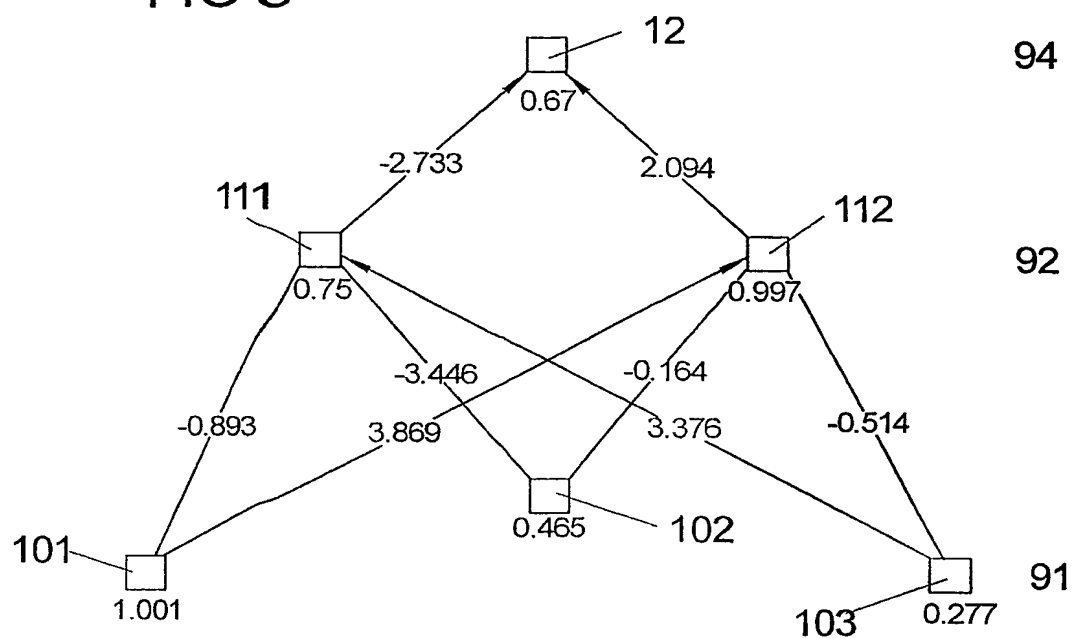
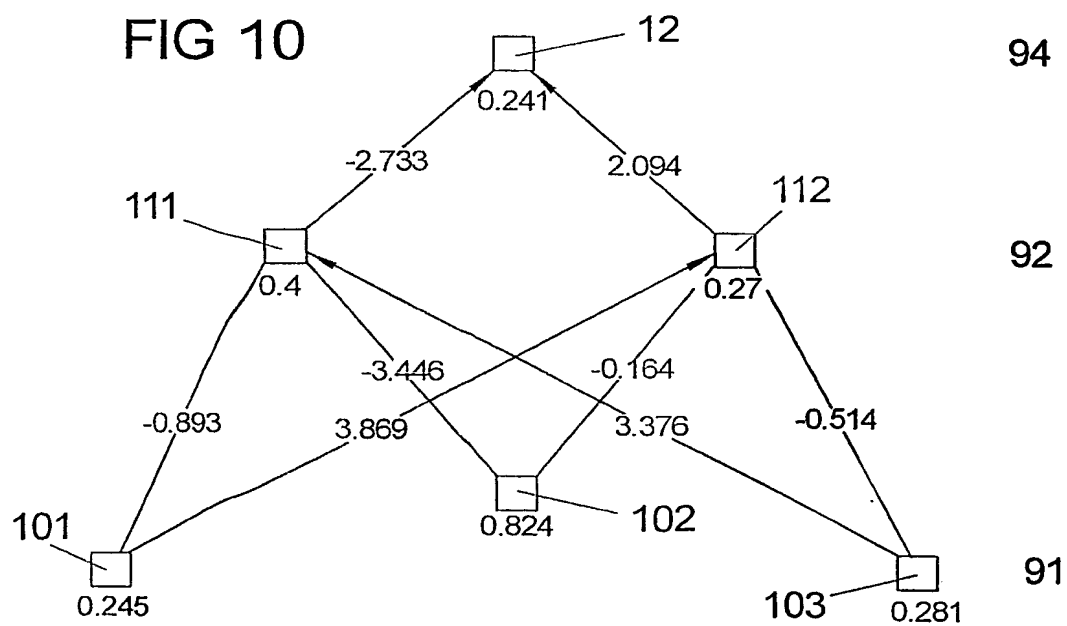


FIG 10



10/17

FIG 11

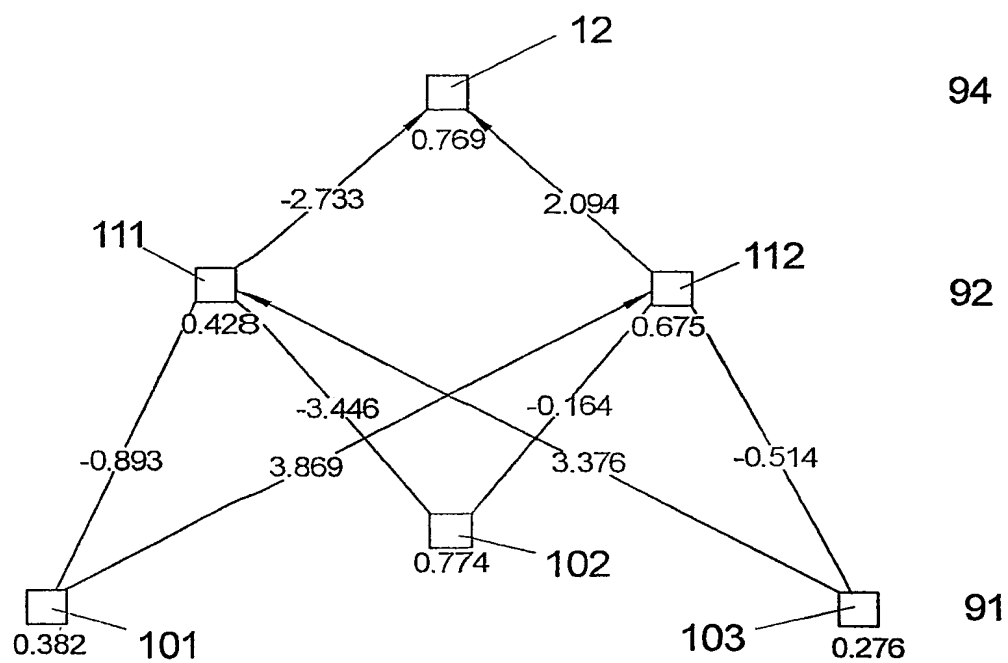


FIG 12A

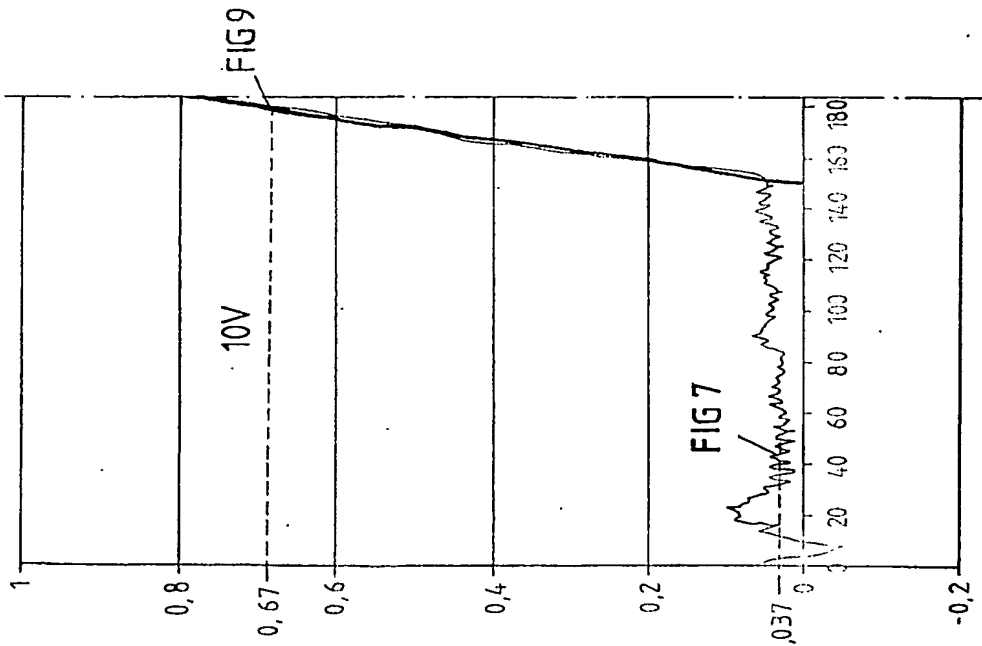
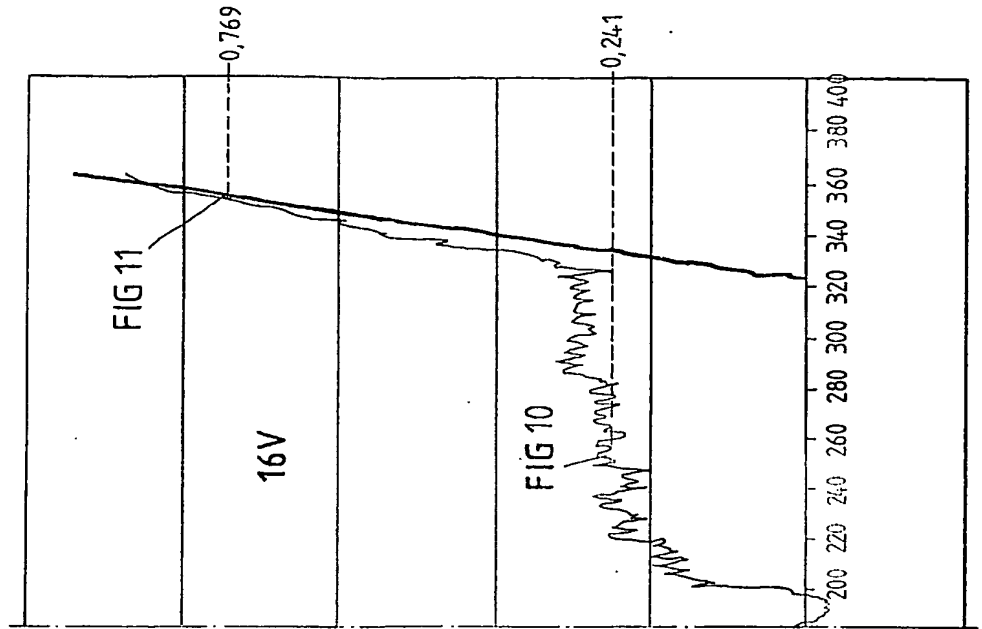


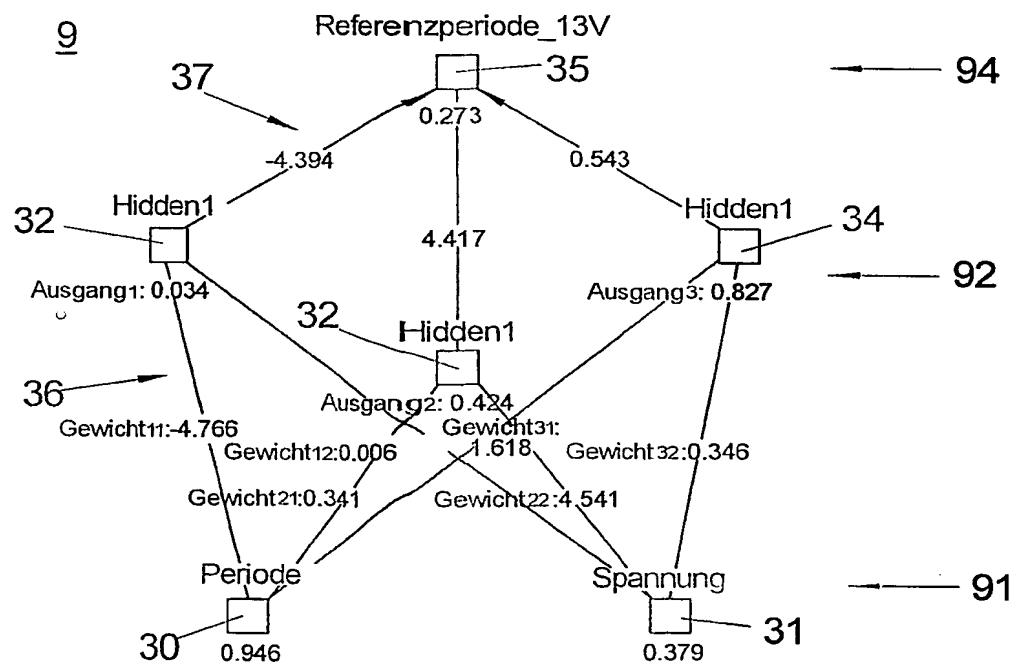
FIG 12B



12 / 17

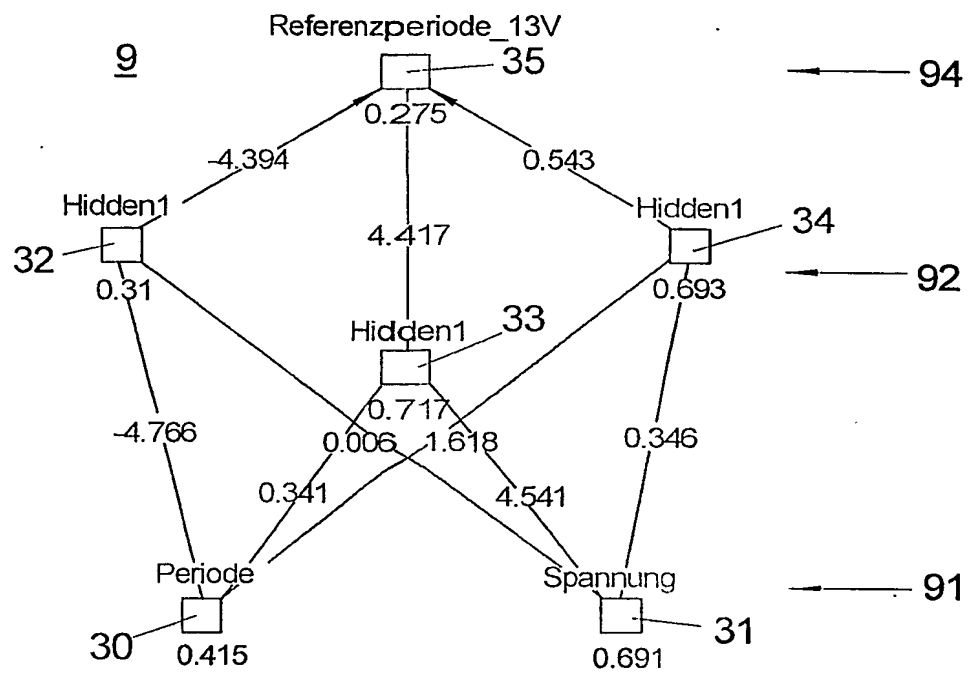
o

FIG 13



13/17

FIG 14



14/17

FIG 15

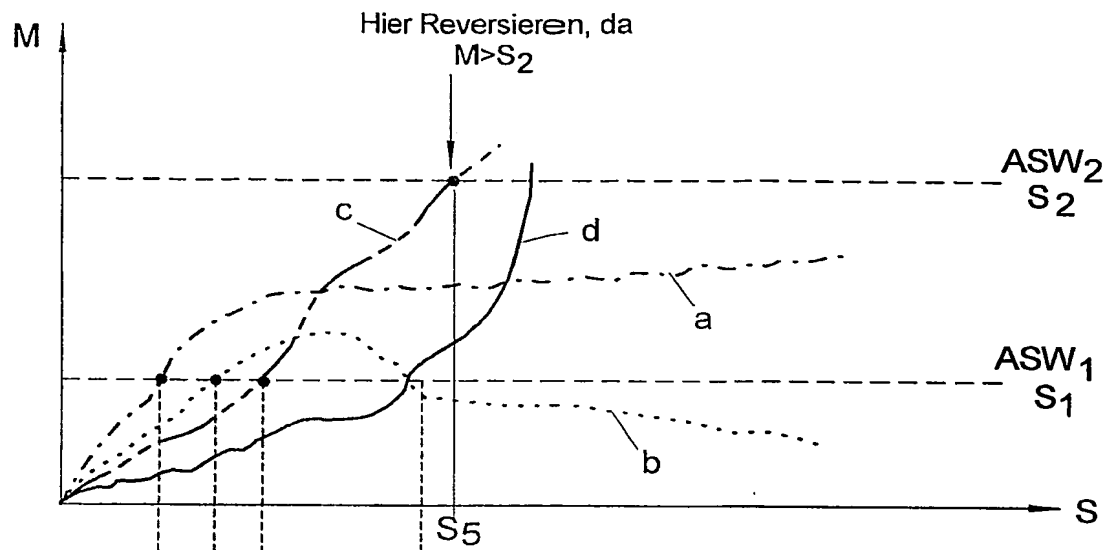
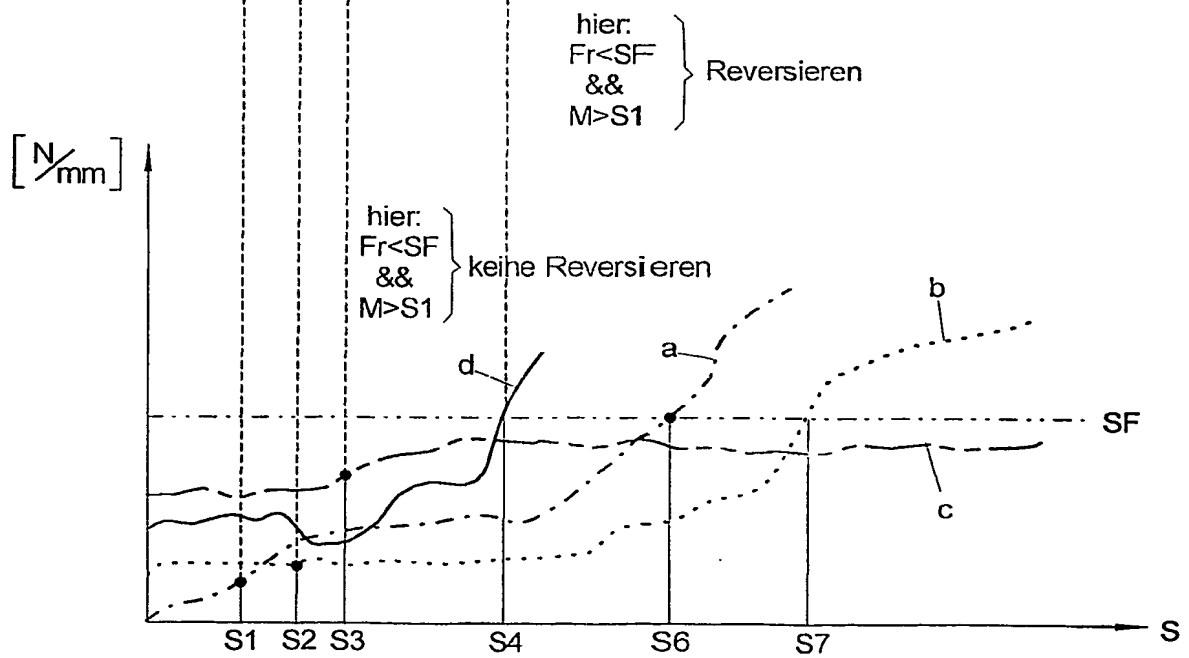
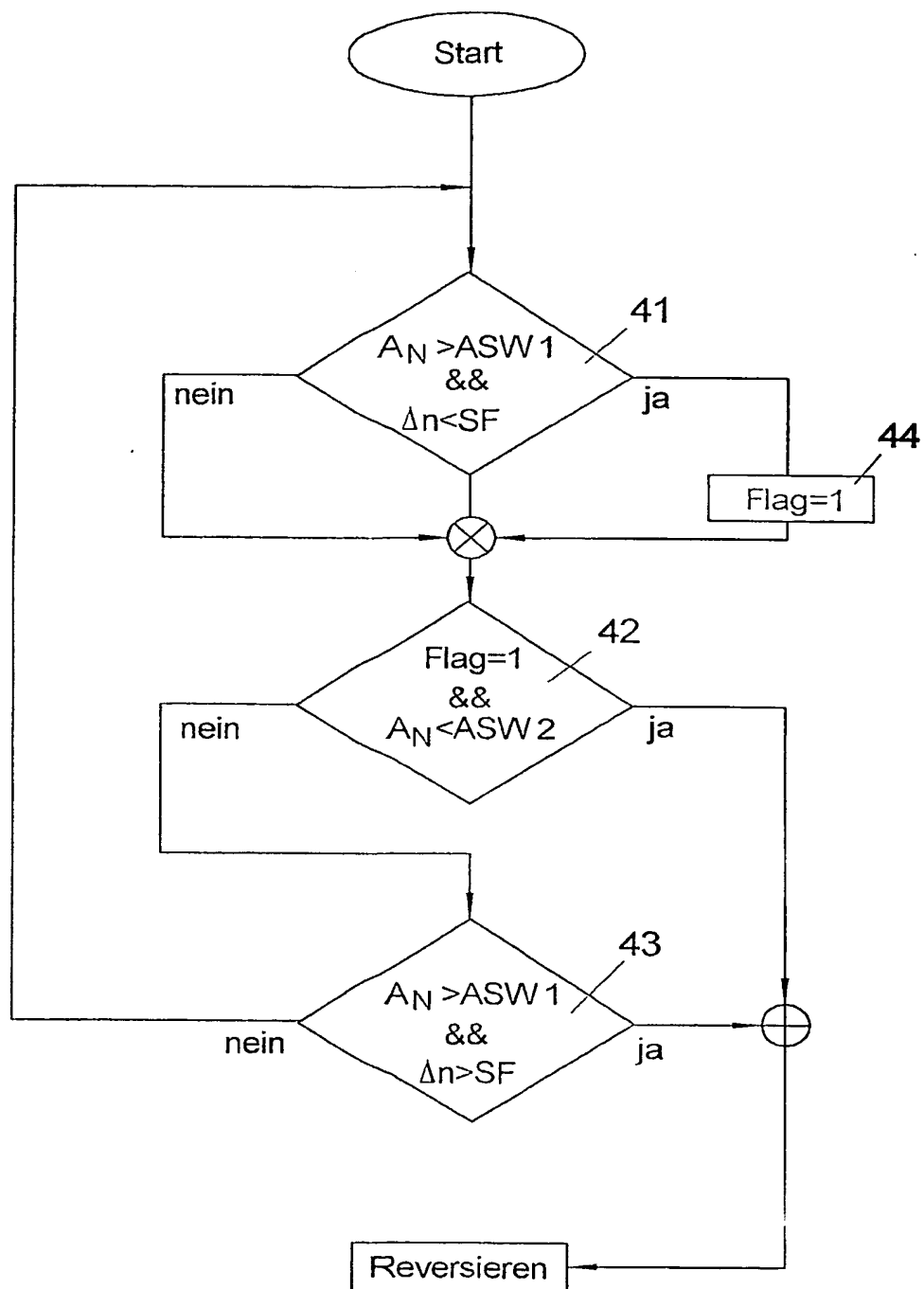


FIG 16



15/17

FIG 17



16/17

FIG 18A

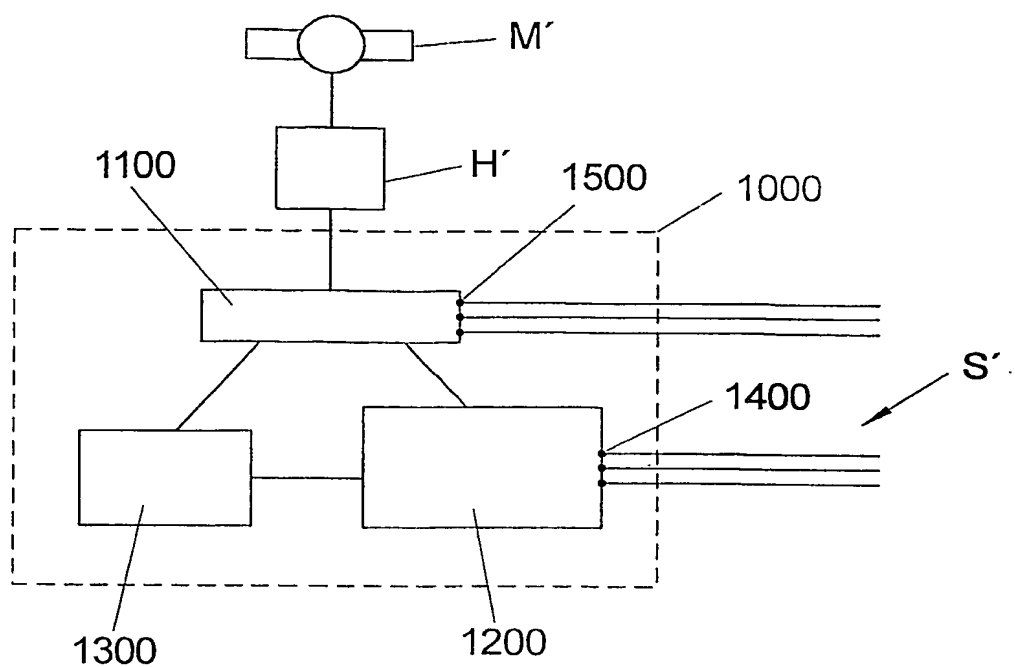
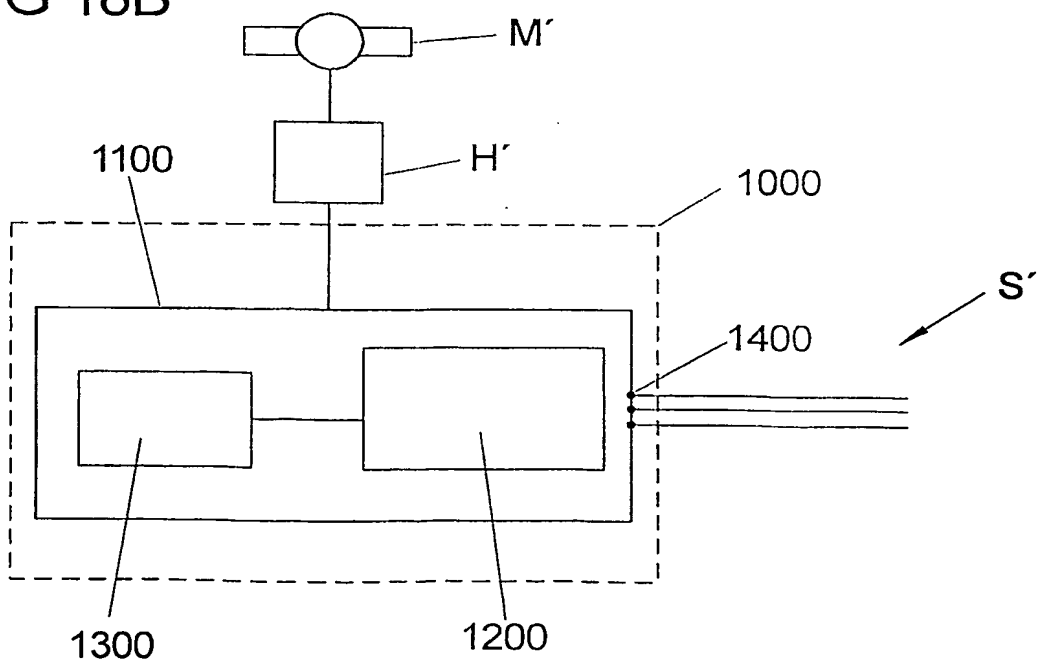
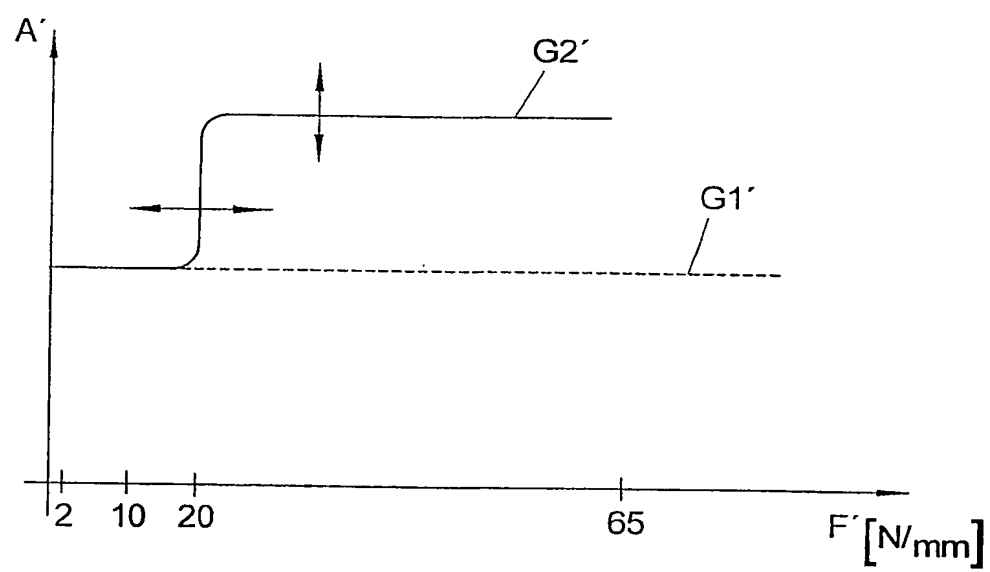


FIG 18B



17/17

FIG 19



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 Internat Application No
 PCT/DE2005/000360

 A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 IPC 7 H02H7/085 H02H1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 IPC 7 H02H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 02/27132 A (SIEMENS TRANSP SYSTEMS INC) 4 April 2002 (2002-04-04) cited in the application paragraph '0020!	1
A	WO 03/063318 A (BIGORRA VIVES JORDI ; FERRE FABREGAS ANTONI (ES); HERMS BERENGUER ATIL) 31 July 2003 (2003-07-31) abstract	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 June 2005

Date of mailing of the international search report

22/06/2005

Name and mailing address of the ISA

 European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Salm, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

Internal Application No
PCT/DE2005/000360

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0227132	A	04-04-2002	DE 10196629 T0	02-10-2003
			WO 0227132 A1	04-04-2002
			US 2002039008 A1	04-04-2002
			US 2002040266 A1	04-04-2002
WO 03063318	A	31-07-2003	WO 03063318 A1	31-07-2003
			EP 1467461 A1	13-10-2004

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internat. Aktenzeichen
PCT/DE2005/000360

A. KLASFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H02H7/085 H02H1/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 H02H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	WO 02/27132 A (SIEMENS TRANSP SYSTEMS INC) 4. April 2002 (2002-04-04) in der Anmeldung erwähnt Absatz '0020!	1
A	WO 03/063318 A (BIGORRA VIVES JORDI ; FERRE FABREGAS ANTONI (ES); HERMS BERENGUER ATIL) 31. Juli 2003 (2003-07-31) Zusammenfassung	1

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt worden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

10. Juni 2005

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

22/06/2005

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Salm, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2005/000360

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0227132	A	04-04-2002	DE	10196629 T0	02-10-2003
			WO	0227132 A1	04-04-2002
			US	2002039008 A1	04-04-2002
			US	2002040266 A1	04-04-2002
WO 03063318	A	31-07-2003	WO	03063318 A1	31-07-2003
			EP	1467461 A1	13-10-2004